الفصل الثالث

وسائل التحكم فى العوامل البيئية داخل البيوت المحمية

مقدمة

على الرغم من أن الهدف الرئيسى من الزراعة المحمية كان — ومازال — هو حماية النباتات من الانحرافات الشديدة فى درجة الحرارة، إلا أن المفهوم العام للزراعة المحمية قد توسع فى السنوات الأخيرة ليشمل كافة العوامل البيئية — الجوية منها والأرضية — بغرض توفير الظروف المثلى للنمو النباتى لتحقيق أكبر عائد ممكن من وحدة المساحة.

وأهم العوامل البيئية التى يسعى منتج الخضر إلى التحكم فيها فى الزراعات المحمية ما يلى:

١- درجة الحرارة.

٢- الرطوبة النسبية.

٣- شدة الإضاءة والفترة الضوئية.

٤- نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون.

٥- بيئة نمو الجذور (التربة والبيئات الصناعية المجهزة).

٦- الرطوبة الأرضية.

٧- العناصر الغذائية.

٨- الآفات ومسببات الأمراض (سواء منها ما يصيب النباتات عن طريق الجذور أم النموات الخضرية) باعتبارها جزءًا من بيئة البيوت المحمية.

ونُلقى الضوء فى هذا الفصل على وسائل التحكم فى العوامل البيئية الأربعة الأولى (درجة الحرارة، والرطوبة النسبية، وشدة الإضاءة والفترة الضوئية، ونسبة غاز ثانى أكسيد الكربون) كما سبقت لنا مناقشة العوامل الثلاثة التالية (بيئة نمو الجذور،

والرطوبة الأرضيه . و لعناصر الغذائية) بالتفصيل فى كتاب "تكنولوجيا إنتاج الخضر" (حسن ١٩٩٧ ب)، كما نوقش العامل الأخير (الآفات ومسببات الأمراض) فى كتاب "الممارسات الزراعية لمكافحة أمراض وآفات وحشائش الخضر" (حسن ٢٠١٠)، الأمر الذى يتطلب مراجعتهما للتفصيل، ولكنّا نلقى — كذلك — مزيدا من الضوء على تلك العوامل الأربعة الأخيرة ووسائل التحكم فيها — فى الزراعات المحمية — فى الفصول الأخيرة من هذا الكتاب

أساسيات التحكم فى درجة الحرارة فى البيوت المحمية

يتعين قبل الدخول فى تفاصيل طرق التدفئة والتبريد وحساباتهما أن نتعرف أولا على بعض المصطلحات المستخدمة فى هذا المجال، وطرق تنظيم درجة الحرارة، وطرق انتقالها، لما لذلك من أهمية كبيرة فى كل من البيوت المدفأة والمبردة على حد سواء

يعبر عن كمية الحرارة (سواء تلك التى يلزم اكتسابها، أم تلك التى يلزم التخلص منها) بالوحدات الحرارية البريطانية British thermal units (اختصار Btu) وهى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة رطل واحد من الماء درجة فهرنهيتية واحدة.

ونظرا لأن عدد الوحدات الحرارية البريطانية الداخلة فى الحساب يكون — عادة — كبيرا، لذلك فإنه يستعاض عنها بقوة الحصان، وكل قوة حصان تعادل ٣٣٤٧٥ وحدة حرارية بريطانية

وفى النظام المترى يُعرَّف الكالورى Calorie بأنه كمية الحرارة اللازمة لرفع حرارة جرام واحد من الماء درجة مئوية واحدة. ويعادل الكيلو كالورى kcal ١٠٠٠ كالورى، أو ٣٩٦٨ وحدة حرارية بريطانية

وفى الوحدات الدولية يستعمل الجول Joule (اختصارًا: J) كمقياس لكمية الحرارة، وهو يعادل ٠,٢٣٩ كالورى، أو ٠,٠٠٠٩٥ وحدة حرارية بريطانية.

ولإجراء التحويلات اللازمة فإن كل وحدة حرارية بريطانية تعادل ٢٥٢ كالوري، أو ١٠٥٥ جولاً

هذا والوات Watt (اختصارا W) يساوى جولا واحدًا/ثانية

طرق انتقال الحرارة

تفيد دراسة طرق انتقال الحرارة — أو تبادل الطاقة بين داخل البيوت المحمية وخارجها — فى الجوانب التالية

١- زيادة كفاءة عملية التدفئة بتقليل فقد الحرارة من داخل البيت إلى خارجه. مع الاستفادة من الطاقة الشمسية نهارًا، والحرارة الصادرة من الأجسام الصلبة داخل البيت ليلاً

٢- زيادة كفاءة عملية التبريد بتقليل اكتساب البيت للحرارة من الجو الخارجى، مع سرعة التخلص من هذه الحرارة أولاً بأول.

وتتوقف درجة حرارة الصوبة فى أى وقت على التوازن الحرارى، أو صافى تدفق الطاقة بين الصوبة والبيئة الخارجية وتوجد ثلاث وسائل أساسية لتبادل الطاقة، هى التوصيل conduction، والحمل convection، والإشعاع radiation

التوصيل الحرارى

إن التوصيل الحرارى هو انتقال الطاقة خلال مادة أو مواد صلدة تكون على اتصال فيزيائى مباشر. وتعتمد سرعة الانتقال الحرارى خلال مادة ما على الخصائص الفيزيائية لتلك المادة (الكثافة ودرجة التوصيل conductivity)، وسمك المادة، والفرق الحرارى عبر المادة ويمكن الحد من الانتقال الحرارى عبر المادة باستعمال مواد ضعيفة التوصيل الحرارى فمثلاً . يعد الاستيروفوم ضعيفًا كموصل حرارى، بينما يعد النحاس ذا قدرة عالية جدًا على التوصيل الحرارى ويُستفاد من وجود فاصل هوائى بين طبقتين من البلاستيك فى الحد من التوصيل الحرارى عبر الغطاء البلاستيكى المزدوج للصوبات؛ نظرًا لضعف التوصيل الحرارى للهواء

الحمل الحرارى

إن الانتقال الحرارى بالحمل هو الحركة الفيزيائية للغازات والسوائل بين أماكن تختلف فى حرارتها فمثلاً نجد فى داخل البيوت المحمية المدفأة شتاء أن الانتقال الحرارى بالحمل يحدث عندما يرتفع الهواء الدافئ وينقل حرارته إلى السطوح الباردة لمادة الغطاء، التى تقوم بنقل ما اكتسبته من طاقة إلى الهواء الخارجى بالتوصيل ومع برودة هواء الصوبة بالتلامس مع مادة الغطاء فى قمة البيت المحمى فإنه ينساب عائدًا نحو أرض الصوبة

وتوجد صورة أخرى للتبادل الحرارى بالحمل، هى بالتسرب infiltration عن طريق التبادل بين الهواء الخارجى والداخلى ويعتمد معدل التسرب على أحجام وأعداد الشقوق والفتحات التى توجد بغطاء الصوبة. كما تعتمد على سرعة الهواء الخارجى ويتحدد معدل تبادل الطاقة بالتسرب بالفرق بين درجة حرارة الهواء الداخل للصوبة والخارج منها واحيرا فإن الرياح تريد - مباشرة — من النقل الحرارى بالحمل من السطح الخارجى لغطاء الصوبة بتقليل سمك الغشاء الهوائى الساكن عند سطح الغطاء

ويُعد انتقال الحرارة بالتخلل إحدى مظاهر الـ infiltration، وفيها تنتقل الحرارة من سطح مشع إلى الهواء أو الماء المتحرك، فترتفع درجة حرارة الوسط الملامس (الماء أو الهواء) وتقل كثافته. ويبدأ فى التحرك لأعلى ليحل محله هواء أو ماء أبرد ليكتسب حرارة من السطح المشع وهكذا وتلك هى خاصية انتقال الحرارة التى تعتمد عليها طرق التدفئة فى البيوت المحمية كما تفقد البيوت المدفأة جزءًا كبيرًا من حرارتها مع الهواء الدافئ المتسرب منها

الإشعاع

يحدث انتقال الحرارى بالإشعاع بين الأجسام دون أى اتصال فيزيائى، أو وجود أى بيئة وسطة بينهما إن كل الأجسام تُشع طاقة فى جميع الاتجاهات، إلا أنها تتباين فى قدرتها على امتصاص الطاقة أو انبعاثها وكل الطاقة التى تصل إلى الأرض من الشمس هى نتيجة

الانتقال الإشعاعى للطاقة. وعندما تصطدم الطاقة المشعة بجسم ما فإنها إما أن تنتقل، أو تنعكس (ظاهرة الانعكاس reflection)، أو تُمتص حسب طول موجة الإشعاع والخصائص الطيفية للجسم فمثلاً .. نجد أن أغطية البيوت البلاستيكية الشفافة تسمح بنفاذ معظم الضوء المرئى (وهو الذى تستخدمه النباتات فى عملية البناء الضوئى)، وتعكس حوالى ١٠٪ منه، ولا تمتص سوى القليل جدًا منه. هذا . إلاّ أن المواد التى تُصنع منها مختلف الأغطية يمكن أن تختلف كثيرا فى خصائصها فيما يتعلق بالأطوال الموجية الأخرى مثل الأشعة تحت الحمراء وعند امتصاص مادة ما للإشعاع فإن الأشعة الممتصة تتحول إلى طاقة حرارية تُدفئ تلك المادة وعمومًا فإن المواد العاكسة بشدة تقلل التبادل الإشعاعى، بينما تعد المواد ساكنة انعمة ممتصة جيدة للطاقة الإشعاعية. وهى التى تُعيد إشعاعها فى صورة طاقة حراريه (Jones ٢٠٠١)

وللتوضيح .. فإن الإشعاع يكون على صورة موجات كهرومغناطيسية تتدفق بانتظام خلال الفضاء، وبذلك فإن انتقال الطاقة فى هذه الصورة لا يكون فى صورة حرارة؛ لأن ذلك يتطلب حركة جزيئات، لكن هذا الإشعاع يتحول إلى طاقة حرارية بمجرد تلامسه مع أى سطح. وتكتسب البيوت المحمية الحرارة نهارًا من الأشعة الشمسية التى تنفذ من خلال غطاء البيت، ثم تتحول إلى طاقة حرارية عند تلامسها مع التربة والأسطح النباتية وغيرهما من الأجسام الصلبة داخل البيت (جانيك ١٩٨٥).

وبالمقابل . فإن الأجسام الدافئة داخل البيت (كالتربة والنباتات) تنطلق منها الحرارة بالإشعاع إلى الأجسام الباردة خارج البيت، دون أن يكون لهذه الظاهرة تأثير ملحوظ على درجة حرارة الهواء الذى تمر من خلاله يكون هذا الفقد الحرارى فى صورة أشعة طويلة الموجة (تحت الحمراء)، ويستمر ليلاً ونهارًا، مادامت درجة حرارة الأجسام داخل البيت أعلى من درجة الحرارة خارج البيت

الأهمية العملية لدراسة وسائل الفقد الحرارى

يستفاد من دراسة وسائل الفقد الحرارى فى الأمور التالية:

١- يلزم فى الجو البارد الاستفادة لأكبر درجة ممكنة من الإشعاع الشمسى نهارًا باختيار التصميم والاتجاه المناسبين للبيت والغطاء المنفذ لأكبر نسبة من أشعة الشمس كما يفضل أن يكون العضو غير منفذ للأشعة تحت الحمراء للاحتفاظ بها داخل البيت ليلا ونهارًا

٢ - يلزم فى الجو الحار الصحو خفض نفاذية غطاء البيت للإشعاع الشمسى، كما يفضل أن يكون الغطاء منفذًا للأشعة تحت الحمراء ليتم التخلص من الحرارة المكتسبة أولاً بأول

٣- أما فى الجو المعتدل نهارًا المائل للبرودة ليلاً (كما هى الحال فى فصل الشتاء فى المناطق المعتدلة)، فإنه يفضل أن يكون غطاء البيت غير منفذ للأشعة تحت الحمراء، حتى يمكن الاستفادة من هذه الأشعة ليلاً فى رفع درجة حرارة البيت عن الجو الخارجى بنحو ٢-٣ درجات، دون الحاجة إلى عملية التدفئة الصناعية التى تكون — عادة — غير اقتصادية فى مثل هذه المناطق

وقد سبقت لنا مناقشة موضوع نفاذية الأنواع المختلفة من الأغطية للأشعة تحت الحمراء فى الفصل السابق. وذكرنا أن أغطية الزجاج والبولى فينايل كلورايد (سمك ٣٢٥ ميكرونًا) تعد غير منفذة. بينما تعتبر أغطية الفيبرجلاس، والبوليستر والبولى فينايل كلورايد (سمك ٧٥ ميكرونًا) قليلة النفاذية وتعتبر أغطية البوليثيلين هى الوحيدة المنفذة للأشعة تحت الحمراء وعلى الرغم من ذلك فإن هذه الأغطية يشيع استخدامها فى المناطق المعتدلة، لكن من حسن الحظ أن هذه الأغطية غالبا ما تكون مغطاة من الداخل ليلاً بطبقة من قطرات الماء المتكثفة. والتى تمنع الفقد الحرارى بالإشعاع، نظرًا لأن الماء غير منفذ للأشعة تحت الحمراء

ونظرًا لأهمية هذا الموضوع . فإننا نلقى عليه مزيدًا من الضوء تحت العنوان التالى.

تأثير نوع الغطاء على الفقد الحرارى من البيوت المحمية

يبين جدول (٣-١) الفقد الحرارى المتوقع من البيوت المدفأة المغطاة بمختلف أنواع

الأغطية كما يمكن الاستفادة من الجدول نفسه فى تقدير إمكانية التخلص من الحرارة المكتسبة من الجو الخارجى نهارًا فى البيوت المبردة

جدول (٣-١): الفقد الحرارى المتوقع من البيوت المدفأة المغطاة بمختلف أنواع الأغطية (Nelson ١٩٨٥).

نوع الغطاء	الفقد الحرارى بالانتقال[أ] (Btu/قدم٢)	الفقد الحرارى بالتسرب[ب] (عدد مرات تغير الهواء/ساعة)	الفقد الحرارى بالإشعاع (% من الفقد الكلى)
الزجاج	١,١٣	٢	٤,٤
الفيبرجلاس	١,٠٠-٠,٩٥	١	١,٠
البوليستر (Mylar)	١,٠٥	—	١٦,٢
البوليثيلين:			
طبقة واحدة	١,٢٠	صفر	٧٠,٨
طبقتان	٠,٧٠	صفر	—
طبقة واحدة بها خلايا هوائية بقطر ٣/١٠ بوصة	٠,٦٠	—	—

(أ) يعبر عن الحرارة المفقودة بالوحدات الحرارية البريطانية التى تنتقل من خلال قدم مربع من الغطاء فى الساعة عندما تكون الحرارة الخارجية أقل من الداخلية بدرجة فهرنهيتية واحدة.

(ب) يحدث الفقد بالتسرب من خلال المسافات بين أجزاء الغطاء، ويعبر عنها بعدد مرات تغير هواء البيت فى الساعة

ويتضح من الجدول أن هواء البيت يتغير بالكامل — وفى غياب أية تهوية — بمعدل مرتين فى الساعة فى البيوت الزجاجية. ويصاحب ذلك فقد كبير للحرارة بالتسرب تلى ذلك بيوت الفيبرجلاس التى يكون الفقد فيها بالتسرب نصف ما فى البيوت الزجاجية. أما البيوت المغطاة برقائق البلاستيك. فلا يحدث فيها أى فقد بالتسرب، نظرًا لأنها تكون محكمة الإغلاق.

هذا إلا أن تقديرات أخرى تشير إلى أن معدل تغير هواء البيوت فى الساعة يبلغ

٥ ٠-١ ٠ مرة فى البيوت المغطاة بطبقتين من رقائق البولیثیلین، و ٠,٧٥-١,٥ مرة فى بيوت الفيبرجلاس والبيوت الزجاجية الحديثة الإنشاء، و ١-٢ مرة فى البيوت الزجاجية القديمة التى مازالت فى حالة جيدة. و ٢-٤ مرات فى البيوت الزجاجية القديمة التى لم تعد فى حالة جيدة

ويبلغ أعلى فقد بالانتقال فى حالة أغطية البولیثیلین، تليها الأغطية الزجاجية، فالبوليستر. فأغطية الفيبرجلاس وجميعها متقاربة، لكن معدل الفقد بالانتقال ينخفض كثيرا عند استعمال طبقتين من البولیثیلین العادى. أو عند استعمال طبقة واحدة بها خلايا هوائية بقطر ٣/٤ بوصة

وكما هو متوقع فإن النسبة المئوية للفقد الحرارى بالإشعاع تبلغ أقصاها فى البيوت المغطاة بالبولیثیلین، وتقل كثيرًا فى البيوت المغطاة بالبوليستر، وتكون منخفضة للغاية فى البيوت الزجاجية وبيوت الفيبرجلاس.

ونظرًا للارتفاع الكبير فى تكلفة التدفئة فى البيوت المحمية، فقد اتجهت الدراسات نحو إنتاج أنواع من الأغطية تقلل الفقد الحرارى من البيوت المدفأة إلى أدنى مستوى ممكن. ويبين جدول (٣ ٢) مقارنة بين الأغطية التقليدية (طبقة واحدة من الزجاج، أو الفيبرجلاس. أو البولیثیلین) وعدد من الأغطية الأخرى الحديثة فى مقدار الفقد الحرارى الذى يحدث من خلالها

يتضح من الجدول أن أكثر أنواع الأغطية كفاءة فى تقليل الفقد الحرارى هو الغطاء المكون من ثلاث طبقات من الزجاج. تفصل بين كل طبقتين منها مسافة ٦ مم، يليها استعمال غطاء أكريلكى Acrylic ذى طبقتين بسمك ١٦ مم، أو غطاء من البولى كربونات Polycarbonate ذى طبقتين بسمك ١٦ مم. وبالمقارنة .. فإن أقل أنواع الأغطية كفاءة فى تقليل الفقد الحرارى هو غطاء الفيبرجلاس، فغطاء البولیثیلین من طبقة واحدة بسمك يتراوح بين ٥٠ ميكرونًا و ١٥٠ ميكرونًا، فغطاء الزجاج العادى المكون من طبقة واحدة أما باقى الأغطية المذكورة فى الجدول، فإنها تعد وسطًا فى هذا الشأن

جدول (٣-٢): الفقد الحرارى من مختلف أنواع أغطية البيوت المحمية

نوع الغطاء	الفقد الحرارى (U)[أ] Btu	W	الفقد بالإشعاع (% من الفقد الكلى)
الزجاج			
طبقة واحدة	١,١٣	٦,٤٠	٤,٤
طبقتان يفصل بينهما مسافة ٦ مم	٠,٦٥	٣,٦٨	
ثلاث طبقات يفصل بين كل منها مسافة ٦ مم	٠,٤٧	٢,٦٦	
البولى فينايل كلورايد	٠,٩٢	٥,٢١	
الفيبرجلاس	١,٢٠	٦,٨٠	١,٠
الأكريلك			
طبقة واحدة بسمك ٣ مم	١,٠٠	٥,٦٧	
طبقتان بسمك ١٦ مم	٠,٥٨	٣,٢٩	
طبقتان بسمك ٨ مم	٠,٦٤	٣,٦٣	
النيوكلوبوتات			
طبقتان بسمك ١٦ مم	٠,٥٨	٣,٢٩	
طبقتان بسمك ٦,٥ مم	٠,٦٩	٣,٩١	
البوليثيلين			
طبقة واحدة بسمك ٥٠-١٥٠ ميكرونًا	١,١٥	٦,٥٢	٧٠,٨
طبقتان	٠,٧٠	٣,٩٧	
البوليستر (ميلار Mylar)	١,٠٥	٥,٩٥	١٦,٢
البولى فينايل فلورايد			
طبقة واحدة			٣٠,٠
طبقتان	٠,٧٦	٤,٣١	

(أ) U هى مجموع الفقد الحرارى الناتج من التوصيل والإشعاع، وتقدر إما بالـ Btu لكل قدم مربع/ساعة/فرق درجة واحدة فهرنهيتية بين الحرارة داخل وخارج البيت، أو بالـ W لكل متر مربع/ساعة/فرق درجة واحدة مئوية بين الحرارة داخل وخارج البيت.

حسابات الفقد الحرارى

يلزم لأجل تصميم قُدرة نُظم التدفئة فى البيوت المحمية تقدير الفقد الحرارى المتوقع فى أكثر فترات الشتاء برودة. ولحساب ذلك نأخذ فى الحسبان عاملين رئيسيين، هما: الفقد من خلال أغطية البيوت المحمية. والفقد الذى يحدث بالتسرب.

يمكن بتطبيق المعادلة التالية تقدير الفقد فى الطاقة الذى يحدث من خلال مادة الغطاء من الحرارة العالية بداخل البيت المحمى إلى الحرارة الأقل فى الخارج، كما يلى

$$Q_c = UA(T_i - T_o)$$

حيث إن

Q_c = الفقد الحرارى الكلى بالتوصيل بالوحدات الحرارية البريطانية Btu/ساعة

U = معامل النقل الحرارى العام بالـ Btu/قدم^2 لكل درجة واحدة فهرنهيتية فى الساعة

A = المساحة الكلية المعرضة للجو الخارجى من السقف والجدران بالقدم المربع

T_i = درجة الحرارة الداخلية للصوبة بالفهرنهيت.

T_o = درجة الحرارة الخارجية بالفهرنهيت.

وعلى الرغم من أن الطاقة تنتقل خلال مادة غطاء البيوت المحمية بالتوصيل، فإن الانتقال الحقيقى للطاقة من السطح الخارجى للصوبة إلى البيئة الخارجية تتضمن خليط معقد من عمليات التوصيل والحمل والإشعاع وتبسط المعادلة السابقة طريقة التقدير باستعمال معامل عام للنقل الحرارى (U) – تم حسابه لمختلف أنواع أغطية لبيوت المحمية – يُكامل بين عمليات تبادل الطاقة ويدمج بينها.

وقد قدر معامل النقل الحرارى العام (بالـ Btu/قدم^2 لكل درجة فهرنهيتية واحدة فى الساعة) لبعض أنواع الأغطية، كما يلى:

مادة الغطاء	معامل النقل الحرارى العام (U)
الزجاج	
طبقة واحدة	١,١
طبقتين بينهما مسافة ١,٢٥ سم	٠,٧
أغشية البولثيليس	
طبقة واحدة	١,١
طبقتان منفصلتان	٠,٧

مادة الغطاء	معامل النقل الحرارى العام (U)
الليف الزجاجى (فيرجلاس)	١,٠
الأكريلك acrylic المزدوج	٠,٦

وتُستعمل المعادلة التالية لتقدير الحرارة التى تفقد بالتسرب عند تبادل الهواء:

$$Q_i = 0.02\ VC\ (T_i - T_o)$$

حيث إن:

Q_i = الفقد الحرارى الكلى بالتوصيل بالوحدات الحرارية البريطانية فى الساعة.

V = حجم البيت المحمى بالقدم المكعب.

A = إجمالى المسطح المعرض للجو الخارجى من السقف والجدرن بالقدم المربع.

T_i = درجة الحرارة الداخلية للصوبة بالفهرنهيت.

T = درجة الحرارة الخارجية بالفهرنيت.

أما القيمة 0.02 فى المعادلة فهى معامل تحويل بوحدات حرارية بريطانية لكل قدم^3 بالفهرنهيت تأخذ فى الاعتبار قدرة وحدة الحجم من الهواء على الاحتفاظ بالطاقة. أما العامل الأساسى فى هذه المعادلة فهو القيمة C، وهى عدد مرات تبادل الهواء بين داخل البيت المحمى وخارجه بالتسرب، والتى تختلف بحسب مادة الغطاء والحالة العامة للصوبة، كما يلى:

نوع الغطاء وحالة البيت المحمى	عدد مرات تبادل الهواء/ساعة
البيوت الجديدة:	
الزجاج والفيبرجلاس	١,٥-٠,٧٥
طبقتان من البولييثيلين	٢,٠-١,٥
البيوت القديمة	
الزجاج – حالة جيدة	٢,٠-١,٠
الزجاج حالة سيئة	٤,٠-٢,٠

تتضمن كلتا المعادلتين مكونات تعتمد على حجم البيت المحمى. ونظرًا لأن الفقد

الحرارى بالتوصيل يحدث من خلال الحوائط والأسقف، فإن الفقد الحرارى الكلى يزداد بزيادة مساحة الأسطح كذلك فإن لتسرب العدى المرتبط بتراكيب معينة للبيوت المحمية يرتبط – مباشرة – بمساحة الأسطح والحجم

وفى كلتا الحالتين يكون من المفيد تقليل مساحة أسطح الصوبة نسبة إلى مساحة الأرض التى يمكن أن ينمو عليها المحصول وهذا هو السبب فى كون البيوت المتصلة معًا gutter-connected أكثر كفاءة فى استهلاك الطاقة عن البيوت المفردة

كذلك تعتمد حسابات الفقد الحرارى فى كلتا المعادلتين على الفرق بين درجة حرارة البيت ودرجة الحرارة الخارجية، ويجب تخير قيمتا. (T_i) بحيث تمثل أقل حرارة داخل البيت يمكن أن يتحملها المحصول المزمع زراعته. و (T_o) بحيث تمثل أقل حرارة خارجية شتاء يمكن توقعها بالنسبة للمنطقة التى تقع فيها الصوبة

طريقة حساب احتياجات التدفئة

تستخدم المعادلة التالية لحساب الاحتياجات الحرارية اللازمة لتدفئة البيوت المحمية بالوحدات الحرارية البريطانية فى الساعة

$$H = [A_1 + (A_2 \times R)] \times T \times G \times W \times C$$

حيث إن

H = احتياجات التدفئة مقدرة بالوحدات الحرارية البريطانية فى الساعة.

A_1 = مساحة غطاء البيت بالقدم المربع

A_2 = مساحة جدران البيت المصنوعة من مواد أخرى غير مادة الغطاء.

R = مقاومة مادة جدران البيت (غير الغطاء) لتوصيل الحرارة (معبرًا عنها، بالمقارنة بتوصيل الحرارة فى مادة الغطاء) ويوضح جدول (٣-٣) قيمة R حسب المادة التى تصنع منها جدران البيت

T = أكبر فرق متوقع فى درجة الحرارة بين خارج البيت وداخله بالفهرنهيت

G = معامل التوصيل الحرارى للغطاء حسب أكبر فرق متوقع فى درجة الحرارة بين

خارج البيت وداخله. ويبين جدول (٣-٤) قيمة G حسب الفرق المتوقع فى درجة الحرارة.

W = معامل سرعة الرياح. يستخرج هذا المعامل من جدول (٣-٥).

C = معامل الإنشاء. تتحد قيمته بحالة البيت، وكيفية إنشائه، ومدى إحكامه. ويستخرج من جدول (٣-٦) حسب حالة البيت (Mastalerz ١٩٧٧).

جدول (٣-٣): المعامل R للمادة التى تتكون منها جدران البيت السفلية إن وجدت.

مادة جدران البيت السفلية ومواصفاتها	R
ألواح أسبستوس الأسمنت Asbestos Cement Board معرجة بسمك ٩,٥ مم	٠,٩٤
أسمنت:	
سمك ١٠ سم	٠,٧٦
سمك ١٥ سم	٠,٦٧
قوالب أسمنتية:	
سمك ١٠ سم	٠,٥٨
سمك ٢٠ سم	٠,٤٦
قوالب طوب (طابوق) سمك ٢٠ سم	٠,٤٣

جدول (٣-٤) معامل التوصيل الحرارى لغطاء البيت (المعامل G للزجاج[١]) حسب أكبر فرق متوقع فى درجة الحرارة بين خارج البيت وداخله.

أكبر فرق متوقع لدرجة الحرارة بين خارج البيت وداخله (ف)	معامل التوصيل G للزجاج
٥٠	١,٠٩
٥٥	١,١٠
٦٠	١,١١
٦٥	١,١٢
٧٠	١,١٣
٧٥	١,١٤

[١] تلزم جداول بقيم أخرى للمعامل G عندما يكون غطاء البيت من مواد أخرى غير الزجاج.

جدول (٣ ٥) معامل سرعة الرياح W

سرعة الرياح (كيلو متر/ساعة)[أ]	معامل الرياح W[ب]	معامل سرعة الرياح البديل[جـ]
٢٤ أو أقل	١,٠٠	١,١٠
٣٢	١,٠٤	١,١٤
٤٠	١,٠٨	١,١٨
٤٨	١,١٢	١,٢٢
٥٦	١,١٦	١,٢٦

[أ] تؤدى زيادة سرعة الريح عن ٢٤ كيلو مترًا فى الساعة إلى زيادة احتياجات التدفئة بنسبة ٤/ لكل زيادة قدرها ثمانية كيلو مترات بساعة فى سرعة الريح.

[ب] يعتبر معامل سرعة الرياح بمثابة معامل تصحيح لمعامل التوصيل الحرارى لمادة غطاء البيت بسبب تأثير زيادة سرعة الريح على كفاءة الغطاء فى توصيل الحرارة

[جـ] تستخدم هذه القيم البديلة عندما تدفع أجهزة التدفئة بتيار الهواء الدافئ نحو غطاء البيت.

جدول (٣-٦) معامل "الإنشاء C"[أ]

نوع البيت وحالته	معامل الإنشاء C
هيكل البيت من المعادن فقط وشرائح الزجاج بعرض ٦٠ سم	١,٠٨
هيكل البيت من الخشب والمعادن وشرائح الزجاج بعرض ٤٠ أو ٥٠ سم	١,٠٥
هيكل البيت من الخشب وشرائح الزجاج بعرض ٥٠ سم	
البيت محكم الإغلاق	١,٠٠
البيت متوسط الإحكام	١,١٣
البيت غير محكم	١,٢٥
هيكل البيت من الخشب والغطاء من الفيبرجلاس	٠,٩٥
هيكل البيت من المعدن والغطاء من الفيبرجلاس	١,٠٠
هيكل البيت معدنى والغطاء بلاستيكى	
طبقة واحدة	١,٠٠
طبقتان بينهما فراغ قدره ٢ ٥ سم	٠,٧٠

[أ] يعبر هذا المعامل عن الاحتياجات الكلية المحسوبة للتدفئة، ويعتمد على مادة هيكل البيت، وغطائه، ومدى إحكامه

وعلى الرغم من دقة المعادلة السابقة فى تقدير الاحتياجات الحرارية اللازمة، إلا أنها تتطلب بيانات كثيرة ربما لا تتوفر لدى المزارع العادى؛ لذا فإنه يشيع استخدام صور أخرى منها أكثر تبسيطًا من السابقة، وفيها تحسب احتياجات التدفئة كالتالى:

$$H = u\,A\,(t_i - t_o)$$

حيث إن:

H = هى احتياجات التدفئة مقدرة بالوحدات الحرارية البريطانية فى الساعة.

u = ثابت يتوقف على نوع غطاء البيت (وهو الموضح تحت العمود "Btu" فى جدول (٣-٢).

A = مساحة البيت الخارجية بالقدم المربع.

t_i = درجة الحرارة الداخلية بالفهرنهيت.

t_o = درجة الحرارة الخارجية بالفهرنهيت.

وعلى الرغم من تأثر قيمة u بسرعة الرياح. إلا أن القيم المبينة فى جدول (٣-٢) هى المتفق عليها، على أساس أن متوسط سرعة الرياح يبلغ حوالى ٢٤ كم/ساعة. ولبيان تأثير الرياح فى هذا الشأن، فإن قيمة u المتفق عليها لغطاء زجاجى من طبقة واحدة — وهى ١,١٣ — تنخفض إلى ١,٠٥ عندما لا يكون البيت معرضًا للرياح، وتزيد إلى ١,١٥ فى حالة تعرض البيت للرياح.

ويعنى استخدام هذه المعادلة أنه فى حالة البيوت البلاستيكية المغطاة بطبقة واحدة من البوليثيلين يلزم ١١٥٠ وحدة حرارية بريطانية/ساعة/١٠٠٠ قدم^2 من المساحة الخارجية للبيت لكل درجة فهرنهيتية واحدة من الفرق فى درجات الحرارة داخل وخارج البيت (Sheldrake وآخرون ١٩٦٢، و Sheldrake ١٩٦٧).

طريقة حساب المساحة الخارجية للبيت المحمى

يتطلب حساب احتياجات التدفئة (وكذلك التبريد) فى البيوت المحمية معرفة المساحة الخارجية للبيت. ويمكن تقدير ذلك فى الأنواع المختلفة من البيوت، كما يلى:

١- البيوت المفردة ذات الشكل الجمالونى المتناظر الانحدار على جانبى البيت Even Span.

تتكون الأسطح الخارجية (شكل ٣-١) مما يلى:

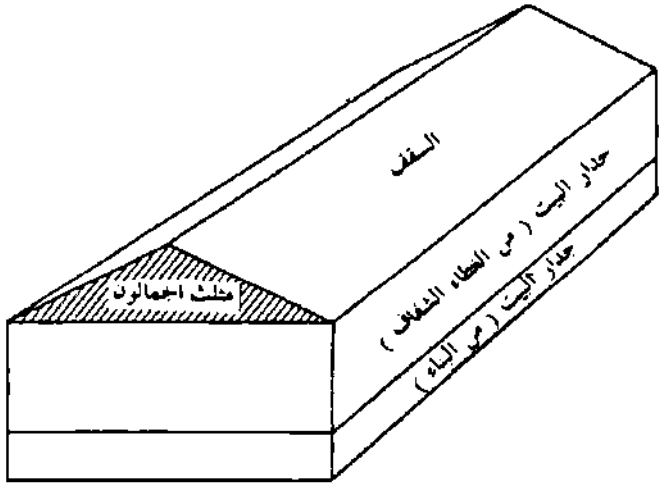
أ- الجانبان الطوليان للبيت؛ وهما مستطيلان.

ب- الجانبان القصيران للبيت؛ ويتكون كل منهما من:

(١) الجزء السفلى، وهو مستطيل.

(٢) الجزء العلوى (تحت الجمالون)؛ وهو مثلث يتساوى فيه ضلعان.

(جـ) جانبا السقف المنحدران؛ وهما مستطيلان.



شكل (٣-١) رسم تخطيطى للبيت الجمالونى المتناظر الانحدار على الجانبين even span، يبين الأجزاء المختلفة من البيت اللازمة لحساب مساحته الخارجية واحتياجات التدفئة

وتحسب أطوال ومساحة الأشكال الهندسية المختلفة كالتالى

مساحة المستطيل = الطول × العرض

مساحة المثلث الذى يتساوى فيه ضلعان = نصف القاعدة × الارتفاع وتعتبر قاعدة المثلث هى الجنب القصير للبيت، أما ارتفاعه، فهو المسافة من مركز الجمالون إلى الأرض، مطروحًا منها ارتفاع الجنب الرأسى من البيت

طول الضلع القصير لكل من جانبى السقف المنحدرين (أو وتر مثل الجمالون)

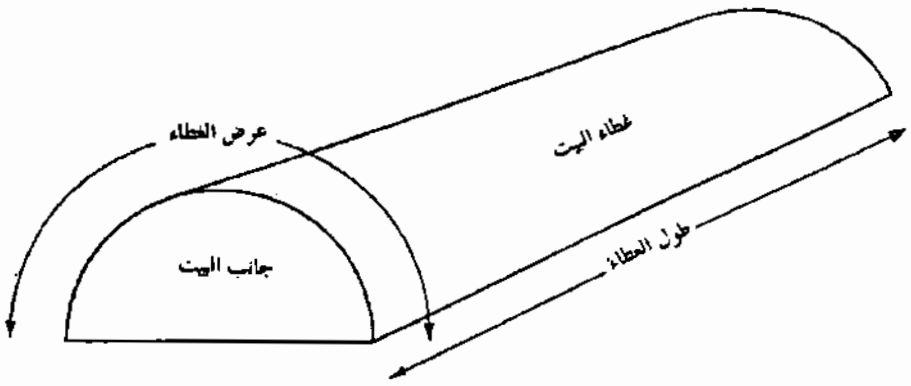
= $\sqrt{\text{مربع نصف قاعدة مثلث الجمالون + مربع ارتفاع مثلث الجمالون}}$

٢- البيوت المفردة النصف أسطوانية Quonset:

يعتبر كل بيت بمثابة نصف أسطوانة (شكل ٣-٢) وتحسب مساحته الخارجية بالمعادلة التالية

المساحة الخارجية للبيت = $\frac{1}{2}$ (٢ ط نق ل + ٢ ط نق^{2}).

حيث إن ط = ٣,١٤٢. ونق = ارتفاع البيت. و ل = طول البيت



شكل (٣-٢) رسم تخطيطى للبيت النصف أسطوانى Quonset يبين الأجزاء المختلفة من البيت اللازمة لحساب مساحته الخارجية واحتياجات التدفئة.

٣- البيوت المفردة ذات الشكل النصف أسطوانى المحور Modified Quonset:

تتكون الأسطح الخارجية للبيت من:

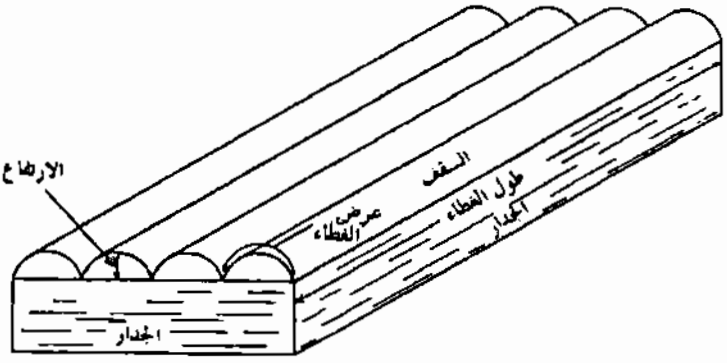
أ- الجزء السفلى للبيت، ويتكون من:

(١) الجانبان الطوليان للبيت، وهما مستطيلان.

(٢) الجانبان القصيران للبيت، وهما مستطيلان.

ب- الجزء العلوى للبيت، ويمكن اعتباره نصف أسطوانة، وتحسب مساحته كما فى حالة البيوت النصف أسطوانية

٤ البيوت المتصلة ذات الشكل النصف أسطوانى المحور (شكل ٣-٣).



شكل (٣-٣) رسم تخطيطى لمجموعة من البيوت المتلاصقة، كل منها على شكل نصف سطوانى محور modified quonset يبين الأجزاء المختلفة للبيت اللازمة لحساب مساحته الخارجية واحتياجات التدفئة

طريقة حساب حجم البيت

تتوقف قوة التدفئة أو التبريد اللازمين للبيت على حجمه. ويمكن تقدير ذلك فى الأنواع المختلفة من البيوت كالتالى:

١- البيوت المفردة ذات الشكل الجمالونى المتناظر الانحدار على جانبى البيت Even span:

يقدر حجم البيت من المعادلة التالية

$$V = L \times [(He \times W) + (\frac{Hr \times W}{2})]$$

حيث إن V = حجم البيت، و L = طول البيت، و He = ارتفاع الجانب الرأسى من البيت، و W = عرض البيت و Hr ارتفاع مثلث جمالون السقف

كما يمكن حساب حجم البيت بطريقة مختصرة كما يلى (مع الرجوع إلى شكل ٣-٤أ بخصوص الرموز المستخدمة فى المعادلة.

$$V \text{ (حجم البيت)} = \frac{h + H}{2} \times L \times W$$

٢- البيوت المفردة النصف أسطوانية Quonset:

يعتبر كل بيت بمثابة نصف أسطوانة، ويحسب حجمه بالمعادلة التالية:

حجم البيت = طول البيت × (½ × ط نق^{٢})

حيث إن نق = نصف عرض البيت

٣- البيوت المفردة ذات الشكل النصف أسطوانى المحور Modified Quonset:

يتكون البيت من جزأين؛ هما:

أ- الجزء السفلى، وهو متوازى مستطيلات.

ب- الجزء العلوى، وهو نصف أسطوانة، فيها نصف القطر يساوى ارتفاع هذا الجزء.

وبالتالى، فإنه يمكن حساب حجم البيت بالمعاملة التالية:

حجم البيت = طول البيت [(عرض البيت × ارتفاع الجزء السفلى)

$$+ \frac{(\text{ط} \times \text{مربع ارتفاع الجزء العلوى})}{٢}]$$

حيث إن ط = ٣ ١٤٢، ومربع ارتفاع الجزء العلوى = نق^{٢}

٤- البيوت المفردة المستندة إلى مبنى (يراجع شكل ٣-٤ب):

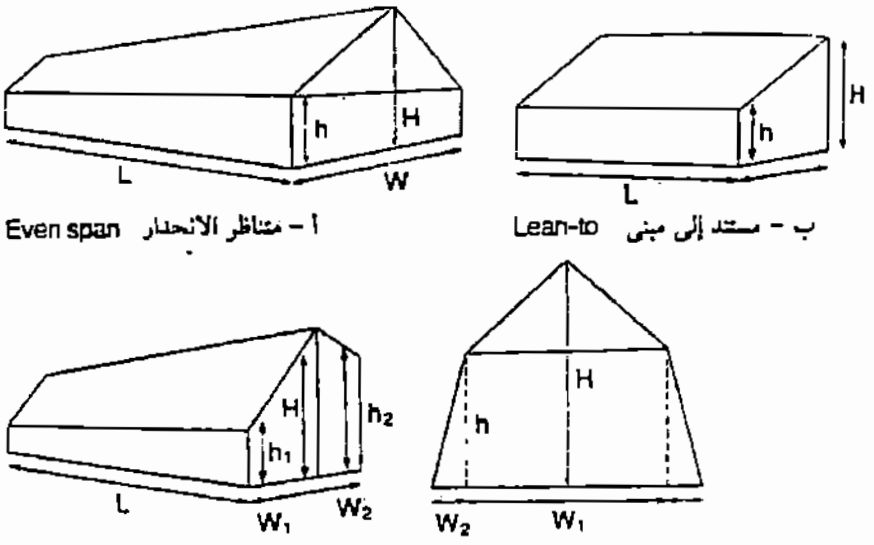
$$V = (\text{حجم البيت}) = \frac{h + H}{2} \times L \times W$$

٥- البيوت المفردة ثلاثة أرباع الجمالون Three-quarter span (يراجع شكل ٣-٤ جـ):

$$V = (\text{حجم البيت}) = \left(\frac{h_1 + H}{2} \times L \times W_1\right) + \left(\frac{h_2 + H}{2} \times L \times W_2\right)$$

٦- البيوت المفردة ذات الشكل الجمالونى والجوانب المنحدرة Sloping sides (يراجع شكل ٣-٤ د)

$$V = (\text{حجم البيت}) = \left(\frac{h + H}{2} \times W_1\right) + (h \times W_2)$$



أ – متناظر الانحدار Even span
ب – مستند إلى مبنى Lean-to
جـ – ثلاثة أرباع Three-quarter span
د – جمالون بجوانب منحدرة Sloping sides

شكل ٣٠–٤، اشكال بعض أنواع البيوت المحمية وطريقة حساب أحجامها، يراجع المتن للتفاصيل (عن Boatifield & Hamilton ١٩٩٠)

منظم الحرارة

يستخدم منظم الحرارة Thermostat في تنظيم درجة الحرارة داخل البيوت المحمية. ويعمل الجهاز على التحكم في درجة الحرارة عن طريق التشغيل الآلي لأجهزة التدفئة والتبريد وبصفة تلقائية. سواء بالتحكم في تشغيل المراوح، أم في فتح وإغلاق منافذ التهوية ويتم تحديد ذلك – سلفاً – بضبط المنظم على درجات الحرارة التي يتعين عندها تشغيل أو إيقاف أي من هذه الأجهزة ومن الأهمية بمكان أن يكون منظم الحرارة على درجة كبيرة من الحساسية، حتى لا تحدث تغيرات كبيرة عن درجة الحرارة المرغوبة، مما تكون له تأثيرات ضارة على النباتات، فضلاً على زيادة استهلاك الوقود دون داع

ولكي تكون كفاءة منظم الحرارة أعلى ما يمكن، تتعين مراعاة ما يلي بشأنه:

١– يجب أن يوضع المنظم في مكان يمثل متوسط درجة الحرارة في البيت، على أن

يؤخذ فى الحسبان موضع أنابيب التدفئة أو المدفئات والتيارات الهوائية. وغالبًا ما يوضع المنظم بالقرب من وسط البيت.

٢- يجب أن يكون موضع المنظم قريبًا من مستوى القمة النامية للنباتات.

٣- يجب إبعاد المنظم كلية عن أشعة الشمس المباشرة التى تؤدى إلى رفع درجة حرارته عن درجة حرارة الهواء المحيط به. ويتحقق ذلك بوضعه داخل صندوق خشبى، مع طلاء السطح الخارجى للصندوق باللون الأبيض أو الفضى لعكس أشعة الشمس.

٤- كما يجب أن يكون المنظم فى مكان جيد التهوية، ويتحقق ذلك بجعل جوانب الصندوق على شكل ريش تعلو واحدة فوق الأخرى لتسمح بمرور الهواء من خلاله ويفضل تزويد جانب الصندوق بمروحة تدفع الهواء داخل الصندوق بسرعة ١٨٠ مترًا/دقيقة.

٥- تجب إضافة منظم آخر داخل الصندوق مع ضبطه على حرارة ١٠°م؛ بحيث يعطى رنين جرس فى منزل المزارع إذا انخفضت درجة الحرارة إلى هذا الحد. ويفيد ذلك فى تدارك الأمر فى حالة فشل أجهزة التدفئة؛ حيث يكون هناك متسع من الوقت قبل انخفاض الحرارة إلى درجة التجمد. كما يجب أن يكون مصدر الطاقة لهذا المنظم من بطارية أو من مولد احتياطى لضمان عمله حتى فى حالة انقطاع التيار الكهربائى.

٦- يجب وضع ترمومتر آخر عادى داخل الصندوق؛ للتأكد من دقة عمل منظم الحرارة.

وسائل التوفير فى الطاقة اللازمة للتدفئة أو التبريد

لا تعتبر دراسة أساسيات التحكم فى درجة الحرارة فى البيوت المحمية كاملة. دون الإشارة إلى الوسائل المستخدمة بغرض توفير الطاقة اللازمة للتدفئة أو التبريد؛ لأن تطبيقها يفيد فى تحقيق قدر أكبر من التحكم فى درجة الحرارة داخل البيوت.

وفيما يلى بيان بالطرق والوسائل المتبعة بغرض توفير الطاقة اللازمة للتدفئة أو التبريد فى البيوت المحمية:

١- اختيار تصميم البيت وتحديد اتجاهه بما يتناسب والظروف الجوية السائدة فى المنطقة. نظرا لأن كلا الأمرين يؤثر على كمية الضوء التى تنفذ داخل البيت؛ ومن ثم على كمية الطاقة الحرارية التى تصل إلى البيت مع الأشعة الشمسية، وقد سبقت مناقشة كلا الأمرين.

٢- اختيار نوع الغطاء وسمكه بما يتناسب أيضًا والظروف الجوية السائدة فى المنطقة. نظرا لأن الغطاء لا يؤثر فقط على كمية الضوء التى تنفذ داخل البيت، بل يؤثر أيضا على فقد الحرارة من داخل البيت إلى الخارج. سواء أكان ذلك الفقد بالتوصيل، أم بالإشعاع، أم بالتسرب؛ وقد سبقت أيضًا مناقشة موضوعى تأثير الغطاء على نفاذية الضوء، وعلى فقد الحرارة

٣ استعمال طبقتين أو ثلاث طبقات من الغطاء بدلاً من طبقة واحدة؛ نظرًا لأن ذلك يقلل معامل التوصيل الحرارى للغطاء بدرجة كبيرة فإذا كان معامل التوصيل الحرارى لطبقة واحدة من الغطاء واحدا صحيحًا، فإن هذه القيمة تنخفض بنسبة ٤٢٪، و ٥٨٪ عند استخدام طبقتين وثلاث طبقات من الزجاج على التوالى. وبنسبة ٤٠٪ عند استخدام طبقتين من البولييثيلين (جدول ٣-٢) وبعنى ذلك انخفاض احتياجات التدفئة والتبريد بالنسبة نفسها

٤ ضرورة إقامة البيوت المحمية بجانب مصدات الرياح لخفض معامل سرعة الرياح (W) فى حسابات التدفئة (جدول ٣-٥)

٥- الاهتمام بحالة البيت ومدى إحكامه. وتغيير الزجاج المكسور أولا بأول لخفض معامل الإنشاء C فى حسابات التدفئة (جدول ٣-٦)

٦- التقليل — قدر المستطاع — من حركة الهواء الدافئ قريبًا من جدران البيت؛ لأن هذه التيارات الهوائية تزيد من فقد الحرارة بالتوصيل ويمكن التحكم فى ذلك الأمر بالاختيار الأمثل لوضع المدفئات وأنابيب التدفئة فى البيت

٧- يجب توجيه الهواء البارد (في البيوت المبردة) في مسار يتخلل النباتات، مع التقليل – قدر المستطاع – من حركته أعلى النباتات (في قمة البيت) أو أسفلها (في حالة الزراعة على المناضد)؛ نظرًا لأن هذه المسارات تقلل كثيرًا من كفاءة عملية التبريد.

٨- الاستفادة القصوى من عملية التهوية في خفض احتياجات التبريد، أو الاستغناء عنها نهائيًا في المناطق المعتدلة.

٩- يمكن خفض الفاقد في الحرارة ليلاً بمقدار ٧٠٪-٨٠٪ في البيوت المحمية التي تتكون أسقفها من طبقتين من الغطاء بدفع رغوة foam خاصة بين الطبقتين. ويتم ذلك بدفع تيار من الهواء في سائل يتمدد بمقدار ١٠٠٠ ضعف، مكونًا الرغوة التي تنتشر بين طبقتي الغطاء. هذا .. وتتلاشى الرغوة في خلال نصف ساعة، ويتجمع السائل من جديد في خزان خاص؛ ليتم ضخه من جديد حسب الحاجة. ويمكن استخدام النظام نفسه للحماية الجزئية من أشعة الشمس القوية نهارًا (Collins & Jensen ١٩٨٣).

١٠- تغطية البيوت المحمية بشباك التظليل من أعلى البلاستيك؛ بهدف خفض احتياجات التبريد. وتتوفر الشباك بنسب تظليل تتراوح بين ١٠٪ و ٩٠٪ حسب الحاجة؛ ويمكن في حالة عدم توفر شباك التظليل رش السطح الخارجي للبيت بالجير في بداية فصل الصيف.

١١- يمكن تحسين التدفئة ليلاً بملء أنابيب بلاستيكية واسعة بالماء، مع جعلها ممتدة على سطح التربة قريبًا من خطوط الزراعة؛ حيث يكتسب الماء كمية كبيرة من الحرارة نهارًا؛ نظرًا لارتفاع حرارته النوعية، ثم يفقدها ليلاً بالإشعاع إلى جو البيت بالقرب من النباتات.

ويذكر Tüzel (١٩٩٤) أن استعمال هذه الأنابيب في البيوت البلاستيكية في تركيا أدى إلى زيادة محصول الطماطم بنسبة ٣٠٠٪، في الوقت الذي أدت فيه الأنابيب إلى خفض درجة الحرارة العظمى بمقدار ٢.٤°م، وزيادة درجة الحرارة الصغرى – ليلاً –

بمقدار ١٣٦ °م على ارتفاع ٥٠ سم من سطح التربة، و ١٤٩ °م على ارتفاع ١٠ سم من سطح التربة و ٠٦٨ م على عمق ١٠ سم فى التربة

وفى دراسة وضعت فيها أنابيب من الأغشية البلاستيكية (plastic sleeves) مملوءة بالماء بين خطوط النباتات فى البيوت المحمية لتعمل كمخزن للحرارة نهارا، ومصدرًا لها ليلاً . أدى تظليل النباتات للأنابيب إلى خفض جمعها للحرارة نهارًا بأكثر من ٥٠٪، بينما أدى عزلها عن التربة حراريًا إلى زيادة كفاءتها بأكثر من الثلث. كذلك أدى استعمال طبقة واحدة من غطاء الصوبة البلاستيكية إلى زيادة جمع الأنابيب للطاقة مقارنة باستعمال طبقتين. ولكن مُجمل الحرارة داخل الصوبة كان أفضل عند استعمال طبقة واحدة عما فى حالة استعمال طبقتين من البلاستيك ولم تكن هناك علاقة واضحة بين الإشعاع الشمسى وجمع الأنابيب للحرارة، مما يدل على أن الحرارة جُمعت كذلك من جو البيت المحمى وبالمقارنة وجد أن جمع بركة مياه للحرارة خارج الصوبة كان أكفء من جمع الأنابيب داخل الصوبة نفسها. إلا أن الفقد الحرارى من مياه البركة قبل الليل وأثناء الليل للصوبة أفقد البركة مزاياها. ولقد كانت الحرارة الدنيا داخل الصوبة المدفأة سببًا بأنابيب الماء أعلى بمقدار خمس درجات مئوية عن نظيراتها فى الصوب غير المدفأة. وهو ما كان كافيا لحماية النباتات من أضرار الصقيع (فى نيقوسيا بقبرص) وبينما ازداد المحصول المبكر باستخدام أنابيب الماء، فإن المحصول الكلى لم يتأثر (Photiades ١٩٩٤)

١٢- استعمال ستائر حرارية متحركة Mobile Thermal Screens تُضم نهارًا لتسمح بنفاذ الأشعة الشمسية. وتُفرد ليلا لتمنع نفاذ الأشعة تحت الحمراء التى تنبعث من التربة والنباتات داخل البيت (عن Koning ١٩٩٨) هذا ولم يجد Pirard وآخرون (١٩٩٤) به اختلافات بين خمسة أنواع من الستائر الحرارية (هى ستائر البوليثيلين، والبوليستر، والبوليستر المغطى بالألومنيوم بنسبة ٥٠٪، أو ٧٥٪، أو ١٠٠٪)، حيث وفرت جميعها فى استهلاك الطاقة بنسبة ٢٠٪

وقد قارن Abak وآخرون (١٩٩٤) استعمال غطاء البوليثيلين المفرد مع كل من

الغطاء المزدوج، والغطاء المزدوج مع ستارة من البوليستر المغطى بالألومنيوم، والغطاء المفرد مع ستارة من البوليثيلين، ووجدوا أن استعمال غطاء مفرد مع ستارة متحركة من البوليثيلين أعطى أعلى محصول كلى من الطماطم (١٠,٣٣ كجم/م^{٢} مقارنة بـ ٨,٦٦ كجم/م^{٢} فى الكنترول)، وكان ذلك مُصاحبًا بارتفاع قدره ٣,٤°م فى درجة الحرارة الصغرى.

الغطاء البلاستيكى المزدوج وأهميته

سبق أن بينا أن استعمال طبقتين من الغطاء البلاستيكى بدلاً من طبقة واحدة يقلل معامل التوصيل الحرارى للغطاء بنسبة ٤٠٪، ويخفض احتياجات التدفئة — والتبريد — بالقدر نفسه ولهذا . فقد اتجهت الدراسات نحو الاستفادة من هذه الخاصية. وكانت البداية فى البيوت المحمية البلاستيكية؛ نظرًا لرخص أغطية رقائق البلاستيك كثيرًا عن ألواح الزجاج أو الفيبرجلاس.

هذا . ولتحقيق أكبر قدر من الاستفادة من طبقتى الغطاء فى خفض معامل التوصيل الحرارى يلزم تأمين مسافة أربعة سنتيمترات من الهواء الساكن dead air space بين الطبقتين تعتبر بمثابة وسادة هوائية air cushion عازلة، لأن نقص المسافة بينهما عن ذلك يقلل من أهميتهما فى خفض معامل التوصيل الحرارى. وفى حالة تلامسهما، فإنهما يعملان معًا كطبقة واحدة. ولا يؤثران على معامل التوصيل. أما فى حالة زيادة المسافة بينهما. فإن ذلك يكون مصاحبًا بتحركات الهواء المحصور بينهما، فإذا ما وصلت المسافة بينهما إلى ٢٠ سم، تولدت تيارات هوائية تحمل الحرارة من الطبقة الداخلية إلى الطبقة الخارجية، ثم إلى الجو الخارجى؛ وبذلك تنخفض كفاءتهما فى العزل الحرارى.

يتم تثبيت طبقتى البلاستيك من خارج البيت. ويفضل أن تكون شريحة البلاستيك الخارجية بسمك ١٥٠ ميكرونًا، والداخلية بسمك ١٠٠ ميكرون. ويتم تأمين الوسادة الهوائية بين طبقتى البلاستيك بدفع تيار مستمر من الهواء بينهما، ويجرى ذلك

بتخصيص موتور صغير لدفع الهواء motor blower لكل بيت يكون قادرًا على دفع ٠,٧٥–١,٥٠م^{٣} من الهواء/دقيقة، وبقوة نصف حصان تقريبًا، ويستهلك ٤٠ وات/ساعة ويجب أن يكون الضغط بين شريحتى البلاستيك ٥–٧,٥مم ماء. ويمكن قياس ذلك بواسطة مانومتر manometer يتم تصنيعه من أنبوبة بلاستيكة شفافة بطول ٦٠ سم تُثنى على شكل حرف U، وتُثبت على لوحة خشبية بوضع أحد طرفيها بين شريحتى البلاستيك، والطرف الآخر داخل البيت، ومع إضافة ١٥–٢٠ سم طولى من الماء فى الأنبوبة يمكن قراءة الفرق بين مستوى سطح الماء فى طرفى الأنبوبة. وكل فرق مقداره ٥ مم يعنى ضغطًا مقداره رطل واحد/بوصة مربعة. هذا . ويمكن تدريج الأنبوبة واستعمال ماء ملون ليمكن رؤيته بسهولة

ومن أهم مزايا استخدام طبقتين من البلاستيك ما يلى:

١– خفض معامل التوصيل الحرارى من ١,٣٥ إلى ٠,٧، ويتبع ذلك توفير احتياجات التدفئة والتبريد بمقدار ٤٠٪، وارتفاع درجة الحرارة الصغرى أثناء الليل.

٢– تقليل أو منع ظاهرة التكثف، ويتبع ذلك نقص أو انعدام الأضرار التى تصاحب تساقط قطرات الماء على النباتات

٣– زيادة مقدار الضوء النافذ نتيجة لقلة أو انعدام ظاهرة التكثف

٤– يكون من الأسهل الاحتفاظ بدرجة حرارة ثابتة داخل البيت

٥– زيادة المحصول

٦– تكون الشريحة البلاستيكية الثانية بمثابة ضمان لوقاية المزروعات فى حالة التلف المفاجئ لإحدى الشريحتين. خاصة فى الجو الشديد البرودة أو الحرارة (Sheldrake ١٩٦٩، و ١٩٧١، و Nelson ١٩٨٥، و Campiotti وآخرون ١٩٩١)

ويفيد حقن الفوم السائل liquid foam (فوم يتم استرجاعه وضخه، إنتاج شركة Sunarc بكندا) فى الفراغ بين طبقتى البلاستيك المغلفتين للصوبة فى الحماية من ارتفاع الحرارة بشدة صيفا، وتقليل الحاجة إلى التدفئة شتاء. وبينما أدى الرش بالماء إلى تخفيض حرارة الصوبة بمقدار ١,٣°م، فإن حقن الفوم كان أكثر فاعلية، حيث أدى إلى

خفض حرارة الهواء بمقدار ٣,٩°م. وحرارة الورقة الخامسة بمقدار ٦,٨°م، وحرارة الساق بمقدار ٥,١°م. وحرارة الثمار بمقدار ١,٢°م فى الطماطم. كما انخفضت حرارة الورقة الخامسة بمقدار ٢.٥°م. وحرارة الساق بمقدار ٢,١°م، وحرارة الثمار بمقدار ٢,١°م فى الفلفل. كما أدى حقن الفوم إلى خفض الإشعاع الشمسى بمقدار ١٠٪ إلى ٦٠٪ حسب الوقت من النهار كذلك انخفضت إصابة الثمار بالتشقق وتعفن الطرف الزهرى عند التظليل بالفوم السائل هذا إلى جانب أن حقن الفوم أدى إلى زيادة الرطوبة النسبية داخل الصوبة بنحو ٥٪ إلى ١٢٪. وفى الشتاء أدى استعمال الفوم إلى خفض الفقد الحرارى من سقف الصوبة بنحو ٤٠٪ إلى ٦٠٪ خلال الليل (Aberkani وآخرون ٢٠٠٨أ، و ٢٠٠٨ب، و ٢٠٠٨ جـ).

ويسمح استخدام الأغطية المزدوجة من الأكريلك acrylic والبولى كاربونات polycarbonate بوضع صبغات سائلة فى قنوات مجوفة بين الأغطية كمادة مرشحة للموجات الضوئية. ولقد جُرِّب استعمال عدة صبغات (حمراء وخضراء وصفراء وزرقاء) للتغلب على الاستطالة فى سيقان النباتات – التى تحدث جراء امتصاص الأشعة فوق البنفسجية فى الأغشية التقليدية – وكانت أقوى الصبغات تأثيرًا كبريتات النحاس ($CuSO_4.5H_2O$)، حيث خفضت طول النبات وطول السلاميات فى كل من الطماطم والأقحوان. وكان أقوى تأثير لها عندما استعملت بتركيز ١٦٪. كما أدى استعمال تلك الصبغة إلى زيادة الكلوروفيل بالأوراق، وزيادة دكنة لونها. وكانت النباتات أكثر اندماجًا. وأقل استهلاكًا للمياه (Clemson University, Photomorphogensis Research Program — ٢٠٠٠ — الإنترنت).

لكن من عيوب استخدام طبقتين من الغطاء خفض نسبة الضوء النافذ إلى داخل البيت بدرجة يسيرة (جدول ٣–٧). وبينما يعد هذا الانخفاض فى نسبة الضوء النافذ أمرًا قليل الأهمية فى المناطق المعتدلة، وقد يكون مرغوبًا فيه فى المناطق الحارة، إلا أنه يعد عيبًا كبيرًا فى المناطق الباردة التى تنخفض فيها شدة الإضاءة كثيرًا.

جدول (٣-٧) تأثير وجود طبقتين من الغطاء على نفاذيته للضوء

الغطاء	نفاذية الغطاء للضوء (٪) فى حالة وجود	
	طبقة واحدة	طبقتين
زجاج (سمك ٣,٢ مم)	٨٨-٨٩	٧٨-٨٠
فيبرجلاس (سمك ٦,٤ مم)	٨٦	٧٥-٧٧
بوليثيلين (سمك ١٠٠ ميكرون)	٩١-٩٢	٨٣-٨٤
بولى فينايل كلورايد (سمك ١٠٠ ميكرون)	٩٢-٩٣	٨٦-٨٧

ويؤيد ذلك دراسة أجريت فى البرتغال (خلال الفترة من يناير إلى يولية) قُورن فيها تأثير استعمال غطاء من البوليثيلين (بسمك ٢٠٠ ميكرون) أو غطاءين (بسمك ٢٠٠ ميكرون + ٨٠ ميكرونًا)، مع الزراعة فى الحقل المكشوف، حيث وُجد ما يلى

١- كانت حرارة الهواء ليلاً تحت الغطاء المزدوج أعلى بمقدار درجتين مما فى الحقل المكشوف، وأعلى بمقدار درجة واحدة مما تحت الغطاء المفرد

٢- كان الإشعاع المؤثر فى عملية البناء الضوئى أقل تحت الغطاء المزدوج بمقدار ٢٠٪ مقارنة بالإشعاع تحت الغطاء المفرد، وبلغ ٥٥٪ فقط من إجمالى الإشعاع فى الحقل المكشوف

٣- كانت حرارة التربة أعلى عندما استعمل غطاء مزدوج، مقارنة باستعمال غطاء مفرد، وذلك فى شهر يناير، ولكن ارتفعت درجة حرارة التربة بسرعة أكبر بكثير تحت الغطاء المفرد مقارنة بالغطاء المزدوج خلال الشهور التالية، حتى أصبح الفارق بينهما ٣-٤°م أعلى (تحت الغطاء المفرد) فى شهر مايو

٤- كانت النباتات تحت الغطاء المزدوج أطول منها تحت الغطاء المفرد، بسبب زيادة استطالة سلامياتها

٥- أدى استعمال الغطاء المزدوج إلى نقص المحصول الكلى بنسبة ٦ ٤٪، ولكن لم يختلف استعمال الغطاء المزدوج معنويًا عن استعمال الغطاء المفرد فى كل من المحصول المبكر وعدد الثمار الكلى (Vargues وآخرون ١٩٩٤)

كذلك وجد Başçetinçelik وآخرون (١٩٩٤) أن نمو نباتات الطماطم لم يختلف تحت الغطاء البلاستيكى المزدوج عنه تحت الغطاء المفرد، على الرغم من أن الغطاء المزدوج أدى إلى نقص نفاذ الأشعة المؤثرة فى عملية البناء الضوئى — إلى داخل البيت — بمقدار ٥٪-١٠٪، ونقص نفاذ الإشعاع الكلى بمقدار ٢٥٪-٢٩٪ مقارنة بالغطاء المفرد.

طرق التدفئة

تتعدد وتتنوع الطرق المستخدمة فى تدفئة البيوت المحمية، ولكل طريقة الظروف الخاصه التى تناسبها ويمكن توصيل جميع نظم التدفئة بمنظم الحرارة الذى يتحكم فى تشغيلها، بحيث تظل درجة الحرارة دائمًا فى الحدود المسموح بها. ويستثنى من ذلك التدفئة بالمدفئات الغازية، ومدافئ الكيروسين، والبارافين، حيث يتم تشغيلها يدويًا خلال فترة انخفاض درجة الحرارة. هذا .. ويفضل نظام التدفئة المركزية Central heating فى تجمعات البيوت المتصلة.

ويلزم فى جميع نظم التدفئة التى تعتمد على الكهرباء فى تشغيلها لتوليد الحرارة أن يوجد مصدر إضافى للتدفئة، أو مولد كهربائى احتياطى للاستعانة بأى منهما فى حالة انقطاع التيار الكهربائى.

وفيما يلى عرض للطرق المتبعة فى تدفئة البيوت المحمية.

التدفئة بأنابيب الماء الساخن وأنابيب البخار

يعتمد كلا النظامين على تسخين الماء فى غلايات boilers، ثم نقله فى صورة ماء ساخن أو بخار فى أنابيب خاصة إلى داخل البيت الذى تتم تدفئته بالإشعاع الحرارى من الأنابيب

وفى حالة التدفئة بأنابيب الماء الساخن hot water pipes يتم تسخين الماء فى مراجل خاصة، ثم يدفع فى شبكة أنابيب التدفئة داخل البيت بمضخة خاصة تعمل بصورة دائمة وعندما تصل درجة الحرارة داخل البيت إلى حدها الأقصى يقوم منظم الحرارة بتحويل دوران الماء آليًا ليستمر داخل الأنابيب فقط، دون الرجوع إلى المراجل. وعندما يبرد

الماء داخل الأنابيب، وتصل درجة الحرارة داخل البيت إلى الحد الأدنى المسموح به يقوم منظم الحرارة بفتح الصمام الذى يسمح بدوران الماء داخل المراجل، ثم إلى الأنابيب، وبذلك يعاد تسخينه وقد يُوَصَّل المنظم بالمضخة مباشرة، بحيث لا يضخ الماء إلا عند انخفاض درجة حرارة البيت إلى الحد الأدنى المسموح به.

وإلى جانب منظم الحرارة السابق الذى يتحكم فى حركة دوران الماء فى الأنابيب، فإنه يوجد منظم آخر لحرارة الماء (aquastat) يتصل بالمرجل، ويتحكم فى إشعال جهاز تسخين الماء وإطفائه تلقائيًا للمحافظة على درجة حرارة الماء، والتى تكون عادة فى حدود ٨٠°م–٨٥°م.

يعد هذا النظام أقل تكلفة وأسهل تشغيلاً من نظام التدفئة بالبخار وعلى الرغم من بطء اكتساب الأنابيب للحرارة وبطء برودتها فى نظام التدفئة بالماء الساخن عما فى نظام التدفئة بالبخار، فإن الحرارة تكون – غالبًا – أكثر تجانسًا فى النظام الأول

أما فى حالة التدفئة بأنابيب البخار steam pipes، فإن الماء يتم تسخينه إلى درجة حرارة ١٠٢°م، بحيث يتحول إلى بخار تحت ضغط خفيف يصل إلى حوالى ٣٥ ٠ كجم/سم٢. وينظم صمام آلى دوران البخار داخل الأنابيب، وفى فتح الصمام الذى يسمح بإدخال البخار إليها هذا وتكون أنابيب التدفئة مائلة قليلاً من أجل إعادة الماء الناتج من تكثف البخار مرة أخرى إلى المرجل، لاعادة تبخيره واستعماله فى التدفئة من جديد

ويعيب هذا النظام عدم تجانس التدفئة داخل البيت، نظرًا لأن الهواء المجاور للأنابيب يكون ساخنًا بدرجة كبيرة، الأمر الذى قد يضر بالنباتات القريبة منها

يوفر نظام التدفئة بالبخار تسخين سريع وكذلك برودة سريعة لأنابيب البخار، وتقل فيه أعداد الأنابيب التى تلزم لحمل البخار عما يلزم من أنابيب فى نظام التدفئة بالماء الساخن. يمكن أن تكون الأنابيب ناعمة أو مجنحة، ويمكن أن تستعمل معها المراوح لزيادة تجانس توزيع الحرارة إذ لزم الأمر ومع هذا النظام، غالبًا ما يكون نحو ثلث الأنابيب علوية وثلثاها على امتداد المحيط الخارجى أو الجدر الجانبية وقد يفيد

البخار فى تعقيم التربة كذلك. ويتطلب هذا النظام تكلفة إنشائية عالية، ولكنه يبقى لفترة طويلة.

هذا .. وقد كان المتبع قديمًا استعمال أنابيب حديدية بقطر ١٠ سم للتدفئة. هذه الأنابيب كان يعيبها ضعف كفاءتها؛ نظرًا لبطء إشعاع الحرارة منها، فضلاً على صعوبة تداولها، نظرًا لضخامتها. وقد تغير ذلك الآن إلى استعمال أنابيب بقطر ٥ سم للماء الساخن. وبقطر ٣-٣.٥ سم للبخار.

ويمكن تقدير الطول اللازم من الأنابيب لتدفئة البيت إذا علمت احتياجات التدفئة من الوحدات الحرارية البريطانية فى الساعة، لأن كل ٣٠ سم طولية من الأنابيب تشع:

١٦٠ وحدة حرارية بريطانية/ساعة فى حالة الأنابيب بقطر ٥ سم، وعند استخدام ماء حرارته ٨٢°م.

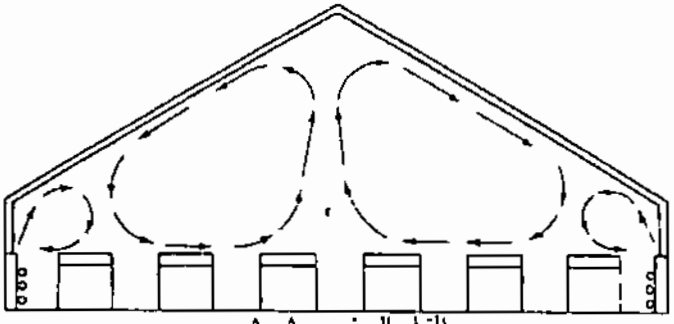
٢١٠ وحدات حرارية بريطانية/ساعة فى حالة الأنابيب بقطر ٣,٥ سم، وعند استخدام بخار حرارته ١٠٢°م.

١٨٠ وحدة حرارية بريطانية/ساعة فى حالة الأنابيب بقطر ٣ سم، وعند استخدام بخار حرارته ١٠٢°م.

وطبيعى أن يزيد الطول اللازم من الأنابيب عن محيط البيت؛ الأمر الذى يستلزم معه عمل عدة طبقات من الأنابيب

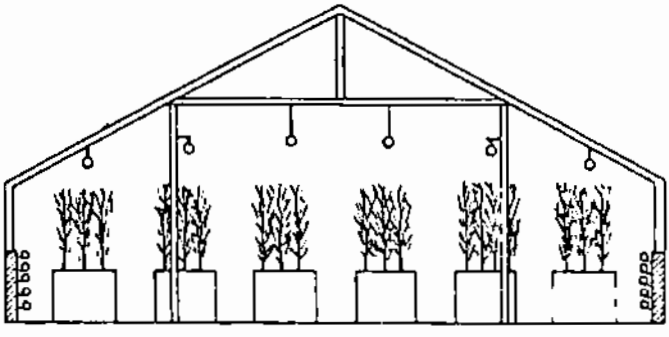
ولا يجوز تكديس كل الأنابيب قرب الجدر الجانبية للبيت.؛ نظرًا لأن ذلك يؤدى إلى تولد تيارات هوائية غير مرغوبة؛ حيث يتصاعد الهواء الدافئ مباشرة موازيًا لجدار البيت حتى يصل إلى السقف، ثم يتحرك جانبيًا إلى أن يتقابل مع تيار مقابل له من الجانب الآخر؛ فيتجه إلى أسفل منتصف البيت بعد أن يكون قد برد من جراء تلامسه مع جدران البيت والسقف، وبعد ذلك يمر على النباتات وهو بارد؛ فلا تتحقق بذلك الفائدة المرجوة من التدفئة (شكل ٣-٥أ). ولهذا السبب يجب توزيع الأنابيب بحيث يكون بعضها بامتداد خطوط الزراعة أو أعلى مستوى النباتات إلى جانب الأنابيب

الجانبية (شكل ٣-٥ ب) وتجدر الإشارة إلى أن تكدس الأنابيب بعضها فوق بعض يقلل من فاعليتها، إلى درجة تجعل كل خمس أنابيب متقاربة توازى فى كفاءتها أربع أنابيب منفردة



قطاع طولى

(أ)



(ب)

شكل (٣-٥) (أ) مسار التيارات الهوائية عند وجود أنابيب التدفئة على جانبى البيت، (ب) انابيب للتدفئة على جانبى البيت، وأخرى أعلى مستوى النباتات للتغلب على مشكلة تحرك الهواء خلال النباتات بعد أن يفقد حرارته

وقد استخدم نوع جديد من الأنابيب ذو سطح خارجي كبير، يطلق عليه اسم الأنابيب الزعنفية أو المجنحة fin pipes، وهي أنابيب عادية، إلا إن لها عديدًا من الأسطح المعدنية الرقيقة البارزة التي تعمل على زيادة مسطحها الخارجي؛ ومن ثم زيادة فعاليتها في إشعاع الحرارة إلى الهواء المحيط بها. ولهذه الأنابيب المقدرة على إشعاع الحرارة بما يعادل ٤-٥ أضعاف الأنابيب العادية.

التدفئة بتيارات الهواء الدافئ

تستخدم في التدفئة بنظام تيارات الهواء الدافئ Circulating Warm Air مراوح كهربائية، لتحريك الهواء الذي يتم إنتاجه بمدافئ كهربائية أو بوحدات تدفئة تعمل بالنفط أو بالغاز. والطريقة الثانية أرخص من استعمال المدافئ الكهربائية، وفيها يتم حرق النفط أو الغاز خارج البيت؛ حيث تطلق نواتج الاحتراق بالجو الخارجي، بينما يدفع تيار الهواء الدافئ المحيط بوحدة حرق الوقود بواسطة مراوح كهربائية في أنابيب بلاستيكية مثقبة تمتد أعلى مستوى النباتات بطول البيت؛ حتى يتوزع بصورة متجانسة في جميع أنحاء البيت.

المدافئ الكهربائية

تعتبر المدافئ الكهربائية Electric Heaters أنظف وأسهل طرق التدفئة، لكن يعيبها ارتفاع تكاليفها. وقد تنطلق الحرارة منها من خلال أنابيب مشعة، أو بواسطة المراوح.

المدافئ التي تعمل بالمحروقات

لا تستخدم تلك المدافئ إلا في البيوت الصغيرة الحجم. وهي قليلة التكاليف وسهلة الاستعمال. لكن يعيبها أنه لا يمكن ربط تشغيلها بمنظم للحرارة، كما تنطلق منها بعض الغازات السامة التي تضر بالنباتات؛ مثل: غاز ثاني أكسيد الكبريت. ولتلافي هذه العيوب يراعى أن يستعمل في تشغيلها وقود ذو نوعية جيدة، مع تشغيلها بصورة سليمة تقلل من انطلاق الغازات السامة.

تعمل هذه المدافئ عادة - بالغاز الطبيعي أو بزيت الوقود. وتعتمد على المراوح لتوزيع الحرارة وغالبا ما تعلق تلك الوحدات من هيكل البيت المحمي، ولكنها قد تثبت أحيانًا على الأرض وهذا النظام للتدفئة يسهل تركيبه. وتكلفته الإنشائية معتدلة وعلى الرغم من أن المدفئات التي تحرق البروبان أو الغاز الطبيعي تُنتج ثاني أكسيد الكربون الذي قد يكون مفيدا للنباتات. فإنها قد تنتج – كذلك – نواتج احتراق أخرى (مثل أول أكسيد الكربون والإثيلين) يمكن أن تكون ضارة لكل من الإنسان والنبات

ويفضل – دائمًا – وجود مدفأتين صغيرتين على جانبي المروحة الدافعة للهواء بدلاً من مروحة واحدة كبيرة، حيث يمكن تشغيل مدفأة واحدة أو كلا المدفأتين حسب الحاجة، كما تقل فرصة حدوث أضرار بالنباتات جراء تعطل المدفأة في حالة وجود مدفأة واحدة كبيرة (Jones ٢٠٠١)

يجب توصيل الهواء إلى المدفأة بأنبوبة خاصة تمتد إلى خراج البيت، نظرًا لأنها تحتاج إلى الأكسجين لعملها. بينما تكون البيوت البلاستيكية غالبا محكمة الإغلاق وكقاعدة عامة تلزم بوصة مربعة (٢٥ ٦ سم٢) من مقطع الأنبوبة الموصلة للهواء لكل ٢٠٠٠ وحدة حرارة بريطانية (Btu)، وعليه يجب أن تكون مساحة مقطع الأنبوبة الموصلة للهواء نحو ٣٠٠ سم٢ لتشغيل مدفأة قوتها ١٠٠٠٠٠ وحدة حرارية بريطانية

وإذا ما استخدمت تلك المدفئات التي تعتمد على حرق الغاز أو الوقود البترولي، فإنه يتعين التخلص من الغازات – التي تنتج من الاشتعال – خارج البيت المحمي، مع التأكد من عدم حدوث أي تسرب داخل الصوبة. إن تلك المدفئات تنتج – إلى جانب الطاقة الحرارية – ثاني أكسيد الكربون الذي يلزم لتحسين النمو النباتي، بالإضافة إلى غازات أخرى بعضها سام للإنسان مثل أول أكسيد الكربون، وبعضها الآخر ضار بالنباتات مثل الإثيلين وثاني أكسيد الكبريت. والهيدروكربونات غير المحترقة يمكن لتلك الغازات أن تُحدث مشكل كبيرة إن لم تكن المدفئات مزودة بمداخن مناسبة، وإن لم يُسمح بدخول هواء خارجي كافٍ لاحتراق الوقود يحتوي الهواء الطبيعي على ٣٠٠

جزء فى المليون من ثانى أكسيد الكربون، بينما تستفيد النباتات من تركيزات تصل إلى ٢٠٠٠ جزء فى المليون. وهذا القدر الإضافى يجب الحصول عليه من مصادر تجارية لثانى أكسيد الكربون (تكون – عادة – ثانى أكسيد الكربون صلب أو سائل)، وليس من الاحتراق. هذا .. فضلاً عن أن المدفئات تعمل – عادة – ليلاً – حينما لا يمكن للنباتات استخدام ثانى أكسيد الكربون المنتج. ويُعد بخار الماء من النواتج الأخرى للاحتراق. وهو يؤدى مع التركيزات العالية لثانى أكسيد الكربون ليلاً فى البيوت المغلقة. ومع التركيز المنخفض من الأكسجين بسبب الاحتراق إلى مشاكل فى مكافحة الأمراض

لهذه الأسباب يجب استخدام مداخن بحجم مناسب للمدفئات، على أن تبرز فوق مستوى أعلى نقطة من سقف الصوبة بما لا يقل عن ١,٢م. ويلزم كذلك توفر أنابيب بقطر ١٥–٢٠ سم لتوصيل الهواء الخارجى للمدفئات فى البيوت المحكمة الإغلاق (Buffington وآخرون ٢٠٠٢).

ويمكن حساب قدرة المدفأة التى تستخدم فى تدفئة البيت المحمى بالمعادلة التالية:

القدرة اللازمة بالوحدات الحرارة البريطانية BTUs = (السطح الخارجى للبيت المحمى بالقدم المربع) × (٠,٨ فى حالة وجود طبقتان من الغطاء البلاستيكى) × (درجة الحرارة الدنيا المسموح بها فى الصوبة – درجة الحرارة الدنيا المتوقعة فى الهواء الخرجى بالفهرنهيت)

فمثلا إذا كانت مساحة السطح الخارجى (المعرض للجو الخارجى) للبيت المحمى ٤٠٠٠ قدم مربع (٣٧١.٦م^{٢}). وتستخدم طبقتان من الغطاء البلاستيكى، وكانت أقل حرارة يُسمح بها داخل الصوبة ٥٨°ف (١٤,٤°م)، وأقل حرارة متوقعة فى الجو الخارجى –١٠°ف (–٢٣,٣°م)، فإن قدرة التدفئة اللازمة تكون:

٤٠٠٠ × ٠,٨ × [٨٥ – (–١٠)] = ٢١٧٠٠٠ وحدة حرارية بريطانية.

وإذا زادت سرعة الرياح عند ١٥ ميل/ساعة (٢٤,١٥ كم/ساعة) خلال موسم التدفئة فإن قدرة التدفئة تجب زيادتها بنسبة ٤٪ لكل ٥ ميل فى الساعة زيادة عن سرعة ١٥ ميل فى الساعة

فمثلا إذا كانت سرعة الرياح ٢٠ ميلاً فى الساعة، فإن قدرة التدفئة تجب زيادتها بمقدار (٢١٧٠٠٠ × ٠٤ ٠) = ٨٦٨٠ وحدة حرارة بريطانية، أى تصبح القدرة المطلوبة ٢٢٥٦٨٠ وحدة حرارة بريطانية (Marr ١٩٩٥)

ويستعمل نظام أنابيب البوليثيلين poly-tube system -- غالبًا — مع أى من نظامى التدفئة التى أسلفنا الإشارة إليهما لتوفير تدفئة أكثر تجانسًا، وكذلك لأجل تحريك الهواء والتهوية ويتكون هذا النظام من أنبوبة بلاستيكية كبيرة مثقبة تتدلى من سقف الصوبة وتمتد بطولها تتصل هذه الأنبوبة من أحد جانبيها بجدار الصوبة حيث توجد مدفأة ومروحة قوية دافعة للهواء، بينما يكون الجانب الآخر للأنبوبة مغلقًا ويتم تشغيل ووقف تشغيل المدفأة والمروحة بواسطة منظم حرارى. يطبق هذا النظام — غالب فى الصوبات الكبيرة المفردة أو المتجمعة تمتلئ الأنبوبة بواسطة المروحة التى تتلقى الهواء الساخن من مصدر التدفئة، لينطلق الهواء المدفأ فى البيت من خلال ثقوب الحصر

يجب الاهتمام بموضع أنابيب التوزيع وتقليديًا تثبت أنبوبة بلاستيكية كبيرة بقطر ٧٥ سم بامتداد طول الصوبة من المروحة الدافعة للهواء إلى الجهة المقابلة وتوضع هذه الأنبوبة — عادة — على ارتفاع ٢٤٠ سم أعلى سطح التربة. ونتيجة لذلك فإن الحرارة تطلق فوق مستوى النمو النباتى، وتستخدم طاقة كثيرة فى رفع حرارة الهواء أعلى الصوبة وكبديل أفضل، يمكن إطلاق الهواء الساخن فى أنابيب بلاستيكية بقطر ٢٠سم توضع على التربة أو بالقرب من سطح التربة تحت النباتات؛ حيث ترتفع الحرارة إلى حيث النمو النباتى ويفيد هذا الوضع للأنابيب فى خفض الرطوبة النسبية حول النباتات وتقليل الإصابة بالأمراض وتحسين نوعية الثمار

التدفئة بالطاقة الشمسية

يعمل نظام التدفئة بالطاقة الشمسية Solar Heating على مبدأ تخزين الحرارة الناتجة من أشعة الشمس نهارًا بواسطة تسخين الماء وحفظه فى خزانات لإعادة استخدامه فى التدفئة ليلاً.

تُجمع الحرارة من أشعة الشمس بواسطة ألواح خاصة مطلية باللون الأسود لزيادة قدرتها على امتصاص الحرارة التى لا تلبث أن تنتقل منها بالتوصيل إلى طبقة رقيقة من الماء تمر بداخلها. ويدور الماء من أنابيب التسخين إلى خزان متصل بها بيطء بواسطة مضخة خاصة توجد فى خزان الماء. وتقوم مضخة أخرى بدفع الماء الساخن للدوران فى شبكة أنابيب التدفئة فى البيت.

وتجدر الإشارة إلى أن كفاءة هذه الطريقة فى التدفئة تتأثر بشدة، وتنخفض كثيرًا فى الجو الملبد بالغيوم؛ الأمر الذى يدعو إلى تجهيز البيت بنظام تدفئة احتياطى كمواقد الكيروسين مثلا (عرقاوى ١٩٨٤).

كما يستفاد من الطاقة الشمسية فى تدفئة نوع من البيوت المحمية يطلق عليها اسم Solar Green Houses. وقد أنشئت أول مجموعة من هذه البيوت بمعهد الأبحاث الزراعية الوطنى (INRA) فى Montfavet بفرنسا، وهى بيوت زجاجية تتكون أسقفها من طبقتين من الزجاج العلوية منهما زجاج عادى، والسفلية عبارة عن نوع خاص يمتص الأشعة تحت الحمراء. ويمر على طبقة الزجاج السفلية تيار مستمر من الماء يقوم بامتصاص الحرارة نهارًا، ويستخدم فى التدفئة ليلاً، ويحفظ الماء فى مخازن تحت الأرض خارج البيت. وعندما تتغير حرارة الماء بدرجة كبيرة، فإنه يخلط بماء جوفى يسحب أولا بأول بطلمبات خاصة، علمًا بأن حرارة الماء الأرضى تتراوح دائمًا بين ١٢ °م و ١٥ °م.

وبهذه الطريقة لا تحتاج هذه البيوت إلى أية تدفئة أو تبريد، ولكن المحصول يقل فيها قليلاً، نظرًا لضعف شدة الإضاءة بها شتاءً.

التدفئة بالأشعة تحت الحمراء

يؤدى استخدام الأشعة تحت الحمراء فى التدفئة إلى رفع درجة حرارة النباتات فقط، مع بقاء هواء البيت باردًا، لكن تظهر اختلافات فى درجة الحرارة بين أجزاء النبات الواحد، لأن الأجزاء المظللة لا تصل إليها الأشعة، وتبقى باردة

وبالقارنة بالطرق الأخرى للتدفئة، فإن هواء البيت — فى حالة التدفئة بالأشعة تحت لحمراء — يكون أبرد. وتكون رطوبته النسبية أعلى (Knies & Breuer ١٩٨٠) وقد ناقش Challa (١٩٨٠) تأثير استخدام الأشعة تحت الحمراء فى تدفئة البيوت المحمية على المحاصيل المختلفة من عدة جوانب، منها الاختلافات فى درجات حرارة الهواء والتربة والنبات، والعلاقات المائية

تدفئة التربة عن طريق مواسير الصرف

وجد Gent & Malerba (١٩٩٤) أن دفع هواء ساخن من خلال مواسير الصرف المغطى تحت مصاطب الزراعة أدى إلى رفع حرارة التربة من ١٠°م إلى ٢٠°م خلال أسبوع واحد من المعاملة فى منتصف مارس، بينما لم تصل حرارة التربة فى معاملة الشاهد إلى هذه الدرجة إلا فى شهر مايو (بولاية كونيكيتكت الأمريكية). وقد أدت المعاملة إلى زيادة محصول الطماطم المبكر بنسبة ١٤٪، والمحصول الكلى بنسبة ١٦٪، ومحصول ثمار الدرجة الأولى بنسبة ١١٪

طرق التبريد

تعد البيوت المحمية المبردة ضرورة لا غنى عنها لإنتاج الخضروات خلال شهور لصيف فى بعض دول العالم، والتى من أمثلتها دول الخليج العربى التى يزيد المعدل الشهرى لدرجة الحرارة العظمى فى معظم أرجائها عن ٤٠°م خلال الفترة من مايو حتى سبتمبر وقد تصل درجة الحرارة العظمى فى بعض أيام الصيف إلى ٤٨°م–٥٠°م، الأمر الذى يستحيل معه إنتاج معظم محاصيل الخضر فى الحقول المكشوفة، فضلاً على

انخفاض الرطوبة النسبية في المناطق الداخلية البعيدة عن السواحل إلى مستويات تقل غالبًا عن ١٥٪. وهي دون الحد المناسب للنمو النباتي، والتلقيح، وعقد الثمار.

وحتى يمكن إنتاج الخضر خلال هذه الأشهر الشديدة الحرارة في هذه المناطق، فإنه يتعين خفض درجة الحرارة بمقدار ١٥°م، ورفع الرطوبة النسبية إلى نحو ٧٠٪-٨٠٪، ولا يتأتى ذلك إلا داخل البيوت المحمية المبردة.

لا يمكن — أبدًا — الاعتماد على التهوية فقط في خفض حرارة هواء الصوبة الداخلي إلى أقل من حرارة الهواء الخارجي، فذلك لا يتحقق إلا بالاعتماد على نظام التبريد، وخاصة التبريد المعتمد على تبخير الماء. يعمل التبريد بالتبخير على مبدأ أن الهواء الذي تقل رطوبته النسبية عن ١٠٠٪ يؤدي — عند ملامسته لسطح مائي — إلى تبخير الماء ليحُمل كبخار ماء مع الهواء المار عليه، وهذا التحول من الصورة السائلة للماء إلى صورة بخار ماء يتطلب طاقة يُحصل عليها من الهواء، الذي تنخفض بالتالي درجة حرارته.

هذا وتتبع طريقتان رئيستان في تبريد البيوت المحمية؛ هما: التبريد بالرذاذ أو الضباب، والتبريد بمبردات الهواء. أما التبريد بمكيفات الهواء، فلا يصلح للإنتاج التجاري للخضر؛ نظرًا لارتفاع تكاليفه، ولكنه قد يستخدم في البيوت المخصصة للبحوث العلمية.

التبريد بالضباب

يعمل نظام الضباب fog system (أو التضبيب misting) تحت ضغط عالٍ لإنتاج عدد هائل من قطيرات الماء الصغيرة جدًا التي تعلق في الهواء كالضباب، ولا تسقط على الأرض مثلما يحدث مع الرذاذ، وإنما تتبخر في الحال؛ ومن ثم تنخفض حرارة الهواء، كما ترتفع رطوبته النسبية. ويتطلب إنتاج تلك القطيرات الدقيقة بزابيز (نوزلات) nozzles خاصة وضغط يتراوح بين ٥٠٠، و ١٠٠٠ رطل على البوصة المربعة (٣٥-٧٠ كجم على السنتيمتر المربع)

يمكن توزيع خطوط البزابيز بامتداد طول الصوبة، لضمان تجانس التبريد والرطوبة النسبية

ويحب أن يكون هذا النظام للتبريد مصاحبًا بمراوح للتهوية

ويتطلب هذا النظام دقة فى إدارته. وأن تتوفر كميات كبيرة من الماء الخالى تقريبًا من الأملاح. كما يتطلب ترشيح المياه ليمكن تشغيل النظام بكفاءة.

وقد يستعمل نظام التبريد بالضباب منفردًا، كما هى الحال فى المناطق المعتدلة، أو مع نظام التبريد بمبردات الهواء فى المناطق الشديدة الحرارة. ففى المناطق المعتدلة يفيد الضباب فى تلطيف جو البيت وخفض درجة الحرارة بعد الظهيرة حين لا تكون التهوية كافية بمفردها لخفض حرارة البيت كما يساعد الضباب على زيادة الرطوبة النسبية إلى الدرجة التى تسمح بالعقد الجيد لثمار بعض المحاصيل كالقاوون. أما فى المناطق الحارة، فإن الضباب يساعد — مع مبردات الهواء — على إحداث خفض أكبر فى درجة الحرارة، نظرًا لأن المبردات قد لا تكفى بمفردها فى الفترات الشديدة الحرارة ويستفاد من ذلك أنه ينصح بتركيب نظام "التضبيب" فى جميع البيوت المحمية فى المناطق المعتدلة والحارة على حد سواء

ويمكن الاستفادة من نظم التبريد بالضباب فى ترويد النباتات بجزء من مياه الرى التى تلزمها. وقد لا تروى النباتات إلا بالرذاذ، لكن يعيب هذه الطريقة أن أرض البيت تصبح موحلة ويمكن التغلب على هذه المشكلة بفرش الممرات بالبلاستيك أو بالزراعة فى بالات القش المضغوط.

ومن ناحية أخرى .. استعمل الرذاذ مع شباك التظليل — خارجيًا — فى خفض درجة الحرارة داخل الصوبات فمثلاً . قام Willits & Peet (١٩٩٤) بوضع شباك من البوليثيلين الأسود — توفر تظليلاً بنسبة ٥٥٪ — خارجيًا، وعرضها للرذاذ يومًا، مع تركها دون رذاذ يوما آخر وهكذا بالتبادل — يوميًا — لمدة ٩ أسابيع (ابتداء من ١٠ يولية فى ولاية كارولينا الشمالية الأمريكية)، وكان تشغيل الرذاذ لمدة ٣٠ ثانية كل ٣ دقائق كلما ازداد الإشعاع

الشمسى عن ٤٠٠ واط (W)/م٢. أدت هذه المعاملة إلى خفض درجة الحرارة داخل الصوبة، وقللت الحاجة إلى التبريد (مع التوفير فى كمية المياه والطاقة المستهلكة فى عملية التبريد)، وخفضت درجة الحرارة القصوى للأوراق بنسبة ٨,٣٪، وللتربة بنسبة ١٧,٦٪ مقارنة بمعاملة الشاهد التى بُرِّدت بنظام المروحة والوسادة فقط

وقد أوضحت دراسة استخدم فيها التبريد باستعمال الضباب (الذى تم توفيره من خلال بزابيز تحت ضغط عال) — ومع توفير مسار طويل لحركة الهواء داخل الصوبة — أن تلك الطريقة أحدثت خفضاً قدره ٥–٧°م عن حرارة الهواء الخارجى التى كانت — فى المتوسط — ٣٦°م (Chen & Lin ١٩٩٨)

كما تم فى إحدى الدراسات تبريد البيت المحمى باستعمال نظام التبريد بتبخير الضباب evaporative cooling system، حيث أُنتج الضباب بالرش تحت ضغط لمدة دقيقة واحدة فى كل فترة ٣–٤ دقائق من بزابيز nozzles على ارتفاع مترين من سطح التربة. وقد تركت كل فتحات التهوية الجانبية والسقفية مفتوحة لزيادة حركة الهواء وتبخر الضباب أثناء التبريد. ولقد انخفضت حرارة الهواء داخل الصوبة بفعل هذا النظام إلى نفس درجة حرارة الترمومتر المبتل فى خلال دقيقة وحدة من بدء التشغيل. وكان نظام التبريد بتبخير الضباب أعلى تأثيرًا فى خفض حرارة الهواء عن خفضه لحرارة أوراق الطماطم النامية بالصوبة (Hyashi وآخرون ١٩٩٨)

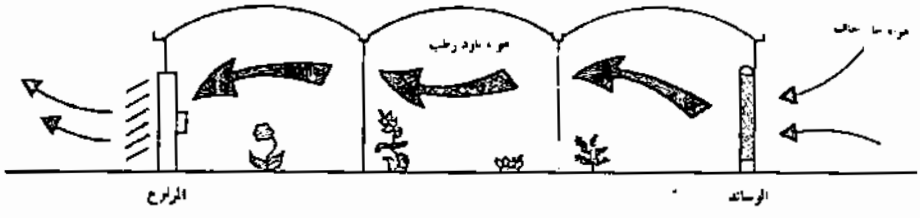
ومن ناحية أخرى .. تبين لدى مقارنة التبريد بالتضبيب تحت ضغط عال كلما ارتفعت الحرارة إلى ٢٤°م. بالتهوية من السقف أو من الجوانب مع استعمال سيران مانع لدخول الحشرات أن التهوية الطبيعية تفيد فى تبريد البيوت المحمية بكفاءة مع التوفير فى استعمال الماء (Sase وآخرون ٢٠٠٧).

التبريد بمبردات الهواء

يطلق على نظام التبريد بمبردات الهواء Air Coolers اسم التبريد الصحراوى، أو نظام المروحة والوسادة Fan and Pad System

طريقة عمل مبردات الهواء

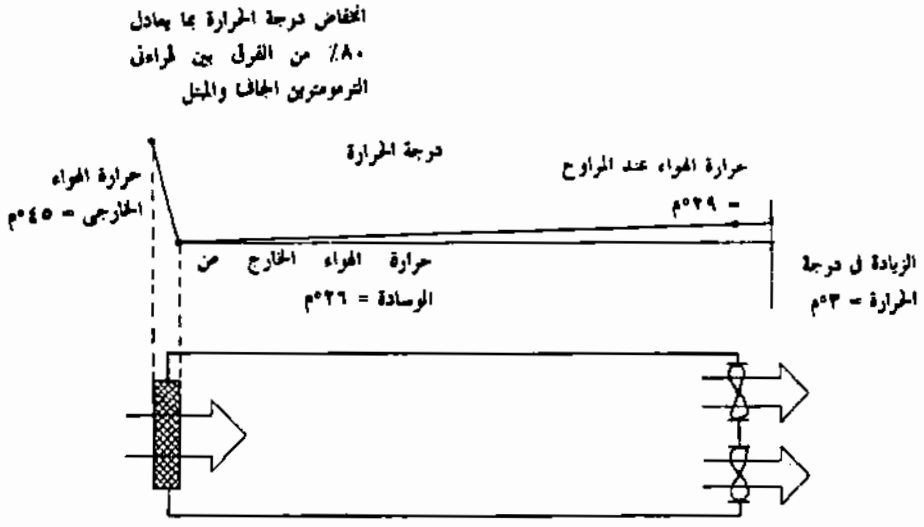
يعتمد التبريد فى هذه الطريقة على تبخر الماء من وسائد pads مبتلة عن طريق إجبار تيار من الهواء بالمرور من خلالها يتم إيصال منظم للحرارة بمروحة كبيرة توجد فى أحد جانبى البيت، بينما توجد الوسائد فى الجانب الآخر وعند وصول درجة الحرارة داخل البيت إلى الحد الأقصى المسموح به يقوم المنظم بتشغيل كل من مروحة ومضخة ماء. تقوم المضخة بدفع تيار من الماء أعلى الوسائد لجعلها رطبة بصفة دائمة، بينما يؤدى تشغيل المروحة إلى إحداث تفريغ داخل البيت، يتبعه اندفاع الهواء من خلال الوسائد المبتلة، حيث يتبخر جزء من الماء، ومن ثم يكون الهواء الداخل إلى البيت باردًا أو رطبًا (شكل ٣-٦). أما الماء الذى لا يتبخر، فإنه يتجمع أسفل الوسادة ليتم ضخه مرة أخرى وهكذا.



شكل (٣-٦) مسار الهواء فى البيوت المبردة بنظام المروحة والوسادة

ويتم التبريد فى هذا النظام على أساس أن تبخر الماء يحتاج إلى طاقة، وأن هذه الطاقة تؤخذ من الوسادة أو الهواء المحيط بها، وعليه . تنخفض درجة حرارة الهواء الداخل إلى البيت عن الجو الخارجى، وقد يصل الفرق فى درجة الحرارة بين الهواء الداخل إلى الوسادة والهواء الخارج منها إلى ٦-١٤°م، لكنه ترتفع درجة حرارة الهواء الذى يمر خلال البيت تدريجيًا. ويقدر الفرق بين درجتى الحرارة عند الوسادة وعند المروحة بنحو ٣-٤ درجات مئويه (شكل ٣-٧)

ولتحقيق ذلك يتعين أن يكون غطاء البيت سليمًا تماما، وأن تكون جميع الأبواب ومنافذ التهوية مغلقة، وإلا اندفع الهواء الخارجى من خلالها — بدلاً من مروره من خلال الوسادة — الأمر الذى يؤدى إلى رفع درجة حرارة الصوبة



شكل (٣-٧) التغيرات فى درجة حرارة الهواء المار خلال البيوت المبردة بنظام المروحة والوسادة.

الوسائد Pads

كانت الوسائد تصنع من أكياس شبكية مملوءة بأية مادة ماصة للماء وذات سطح كبير؛ مثل القش. أو قشارة الخشب. أو ما شابه ذلك من المواد، إلا أن هذه النوعية لم يعد لها استعمال كبير فى الوقت الحاضر؛ نظرًا لضعف كفاءتها، وضرورة تغييرها سنويًا.

أما الوسائد الحديثة. فإنها تتكون من ورق سيليلوزى معرج، ومشبع بأملاح غير ذائبة، وبمواد تزيد من صلابة الورق مع بعض المواد التى تساعد على البلل. وتستخدم هذه الوسائد لمدة ١٠ سنوات أو أكثر. وهى تتوفر بسمك يتراوح بين ١٠ سم و ٣٠ سم، علمًا بأن زيادة السمك تعنى نقص المسطح العام للوسادة الذى يجب توفره لتحقيق التبريد اللازم. وتستعمل الوسائد السميكة (٢٠-٣٠ سم) فى الأجواء الشديدة الحرارة. وتزيد كفاءة هذه النوعية من الوسائد بنحو ٦٠٪ عن كفاءة الوسائد التى تملأ بالمواد الماصة

توضع الوسائد بامتداد جوانب الصوبة مقابلة لمراوح السحب على الجانب الآخر. وإذا ما حدث ابتلال كامل لكل أسطح الوسادة (بالماء التى يتساقط عليها من أعلى)، فإن ذلك يعنى ١٠٠٪ كفاءة تشغيل ولكن — عمليًا — فإن كفاءة التبريد القصوى تكون — عادة — فى حدود ٨٥٪ من تلك الممكنة

يجب أن تشغل الوسائد قطاعا مستمرا من كامل جانب البيت المحمى المواجه لمروحة سحب الهواء. ذلك لأن عدم استمرارها فى أى مساحة من الجانب — بسبب وجود باب على سبيل المثال يمكن أن يتسبب فى تكوين "بقعة حارة" hot spot قد يبلغ قطرها ثمانية أضعاف عرض المساحة التى لا تشغلها الوسادة

ولابد من توفير أغطية متحركة shutters لغلق الوسائد عندما تكون هناك حاجة للتدفئة بدلاً من التبريد

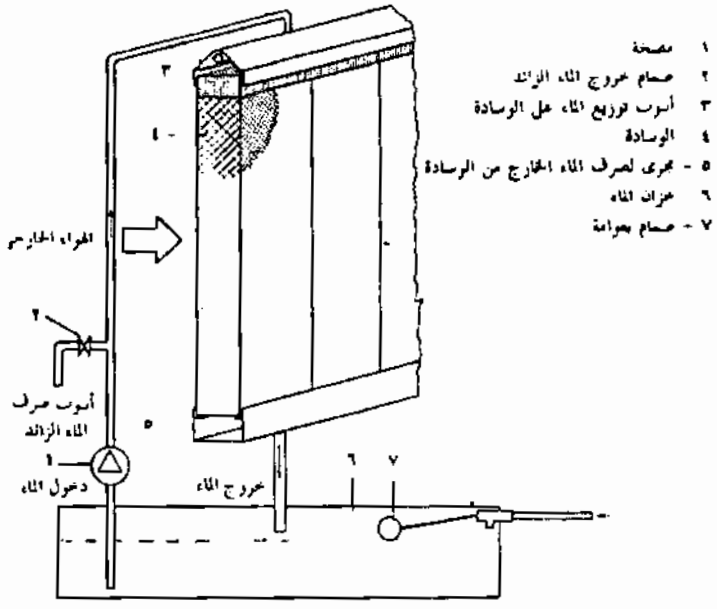
ويراعى أن تكون الصوبة محكمة الإغلاق وجميع الأبواب والفتحات مغلقة أثناء تشغيل مراوح السحب لأن الهواء يتحرك من خلال المسارات التى يجد فيها أقل مقاومة.

كما يراعى تزويد الوسائد بشبك سلكى لمنع دخول الحشرات.

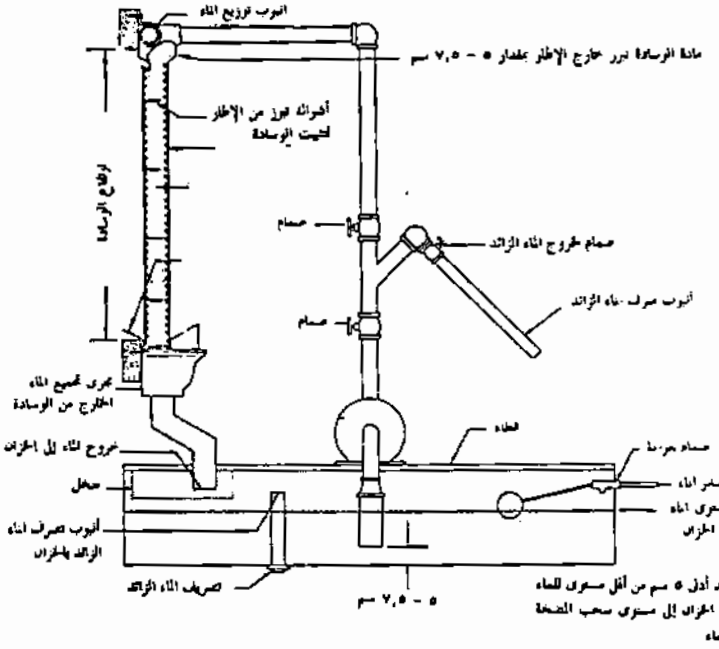
هذا ويوضح شكل (٣–٨) التركيب العام للوسادة، وكيفية تزويدها بالماء اللازم للتبريد أما شكل (٣–٩). فيبين التركيب الدقيق لمكونات الوسادة وملحقاتها

يصل الماء إلى الوسادة من خلال أنبوبة (بلاستيكية غالبًا) تثبت أفقيًا أعلى الوسادة وبامتداد طولها. تكون هذه الأنبوبة مسدودة من طرفيها، وتوجد بأسفلها ثقوب كل نحو ١٠ سم، وتتصل من منتصفها بمصدر الماء. ولا يجوز أن يصل إليها الماء من أى موقع آخر، خاصة عندما يزيد طول الوسادة عن ٢٢ مترًا.

وتوضع مصفاة أسفل الأنبوبة لتوزيع الماء بتجانس قبل أن يسقط على الوسادة وربما لا توجد مثل هذه المصفاة، لكن يجب أن تكون ثقوب الأنبوبة فى هذه الحالة متقاربة بدرجة تسمح بحسن توزيع الماء على الوسادة بانتظام. وتثبت الوسادة أسفل المصفاة فى وضع رأسى. ونظرًا لأن الوسادة تتمدد بالبلل وتنكمش بالجفاف، فإنها توضع داخل شبكة سلكية



شكل (٣-٨): التركيب العام للوسادة، وكيفية تزويدها بالماء اللازم للتبريد.



شكل (٣-٩): التركيب الدقيق لمكونات الوسادة وملحقاتها (عن Hanan وآخرين ١٩٧٨).

ويوجد مجرى أسفل الوسادة لتلقى الماء الزائد الذى ينتقل بعد ذلك إلى خزان للماء يوجد أسفل المجرى. وهو الذى يضخ منه الماء إلى أعلى الوسادة ويغطى السطح العلوى لهذا المجرى. حتى لا تتجمع به أية بقايا أو شوائب

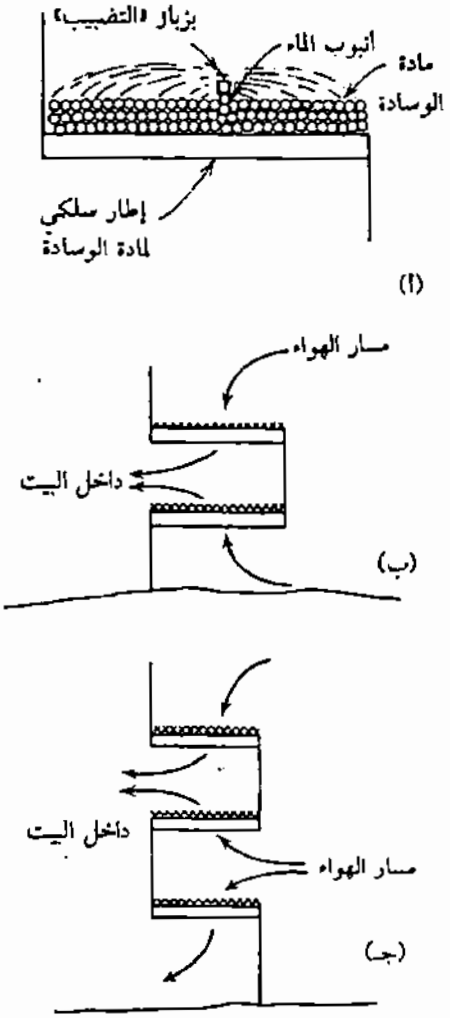
ويُعوَّض الماء الذى ينقص من الخزان باستمرار بمعدل يوازى كمية الماء المتبخرة، وهى التى قد تصل إلى ٤١ ، لترًا فى الدقيقة لكل متر مربع من الوسادة فى يوم حار جاف. ويتم تزويد الخزان بالماء من فتحة يتحكم فيها صمام "بعوامة". هذا .. ومن المفضل تزويد النظام بمرشح للماء يوضع قبل المضخة، ويمكن تنظيفه بإعادة مرور الماء من خلاله فى الاتجاه العكسى flushable filter

كما توجد وسائد أفقية توضع فيها مواد، مثل الفيرميكيوليت أو قُشارة "برْوةُ" الخشب على شبكة سلكية. لتعمل كمسطح للتبخر مع السماح بمرور الهواء من خلالها ويحافظ على الوسادة رطبة باستمرار بواسطة "التضبيب" (شكل ٣-١٠أ). كما قد يوجد عدد من الوسائد الأفقية التى تثبت بعضها فوق بعض على جانب البيت من الخارج (شكل ٣-١٠ب، جـ)

المروحة Fan

يجب أن تثبت المروحة فى جانب البيت الذى لا يواجه الرياح، فى حين تكون الوسادة فى الجانب المواجه للرياح؛ حتى تكون الرياح مساعدة لعمل المروحة. وليست معاكسة لها وإذا تعذر ذلك، فلابد من زيادة كفاءة المروحة بمقدار ١٠٪

أما إذا وجد عدد من البيوت المتجاورة، فإن اتجاه الرياح لا يكون عاملاً مهمًا إلا بقدر ما تكون مراوح إحدى مجموعتى البيوت غير مقابلة لوسائد المجموعة المجاورة، لأن ذلك يؤدى إلى طرد الهواء الساخن من المجموعة الأولى ليدخل فى البيوت المجاورة. ويحسن فى هذه الحالة أن تكون وسائد مجموعتى البيوت متقابلة. لكن هذه المشكلة تقل تدريجيًا بزيادة المسافة بين مجموعتى البيوت، حتى تنعدم تمامًا عندما تكون المسافة بينهما ٢٠ مترا أو أكثر



شكل (٣-١٠): الوسائد الأفقية: (أ) وسادة من مواد ذات سطح مساص وكبير؛ مثل الفيرميكيوليت أو بروة الخشب، (ب) طبقتان من الوسائد العادية بوضع أفقي، (جـ) ثلاث طبقات من الوسائد العادية بوضع أفقي (عن Mastalerz ١٩٧٧).

وفي حالة استعمال أكثر من مروحتين في البيت الواحد يفضل أن يكون لبعضها سرعتا تشغيل. ليمكن تحقيق أكبر قدر من التحكم في معدل سحب الهواء من البيت؛ سواء أكان ذلك عند التبريد. أم التهوية.

وإذا كانت مراوح بيتين متجاورين تدفعا الهواء فى حيز مشترك بين البيتين، فإنهما يجب أن يُفصلا عن بعضهما بساتر حتى نتجنب إطلاق الهواء من إحدى المراوح — مباشرة — باتجاه الأخرى

يجب ألا تزيد المسافة بين المروحة والوسادة — أبدًا عن ٦٠ مترًا، ويفضل ألاّ تزيد عن ٤٥ مترا ويلزم — عادة — توفر الوسائد بعرض ٣٠ سم لكل ٦ أمتار من المسافة بين المروحة والوسادة

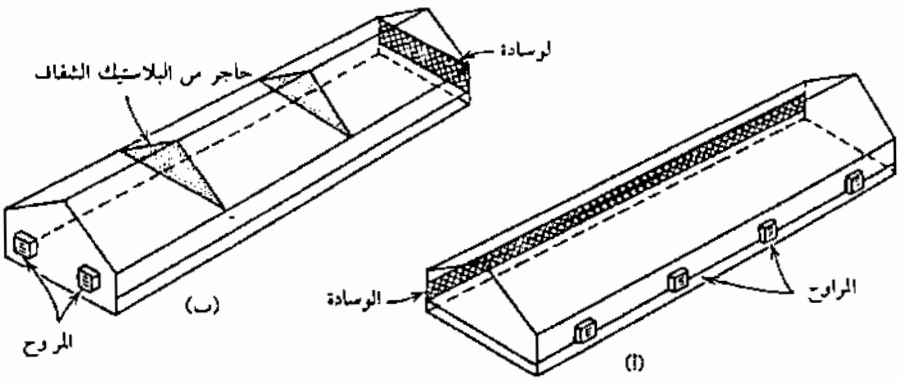
ويكون من المفيد فى البيوت الطويلة جدًا وضع الوسائد على جانبى البيت البعيدين. مع وضع مراوح السحب فى منتصف الجانبين الطويلين (Bucklın وآخرون ٢٠٠٤).

مسار الهواء المبرد

يفضل أن يكون مسار الهواء المبرد باتجاه عرض البيت، وموازيًا لخطوط الزراعة، وفى مستوى النمو النباتى. ولتحقيق ذلك يجب وضع الوسائد فى مستوى النباتات أو أعلى قليلا (شكل ٣-١١)؛ حتى تزيد فرصة مرور الهواء البارد من خلال النباتات، لكن نظرًا لأن تيار الهواء يجد مقاومة من النباتات، فإننا نجد أن مسار الهواء يتجه إلى أعلى بزاوية ٧ درجات (أى بمعدل متر لكل ثمانية أمتار) تاركًا جيوبًا غير مبردة فى مستوى النمو النباتى

ويمكن تصحيح ذلك بوضع بتثبيت شرائح من البوليثيلين الشفاف تتدلى من قمة البيت عمودي على مسار الهواء، حتى تجبره على أن يسلك مسارا سفليًا بين النباتات تثبت هذه الشرائح كل عشرة أمتار ويجب أن يكون طرفها المتدلى بعيدًا بعدا كافيًا عن قمة النباتات، حتى لا تعوق حركة الهواء (شكلا ٣-١١ب، ٣-١٢ هـ)

كما تظهر مشكلة أخرى إذا كانت الوسائد قريبة من سطح التربة، وكانت النباتات مرتدة على مناضد؛ لأن الهواء المبرد يتسرب فى هذه الحالة من تحت المناضد، دون المرور على النباتات (شكل ٣-١٢ د) ويمكن التغلب على المشكلة بتثبيت شرائح بلاستيكية تحت المناضد مقابل الوسائد (شكل ٣-١٢ هـ).



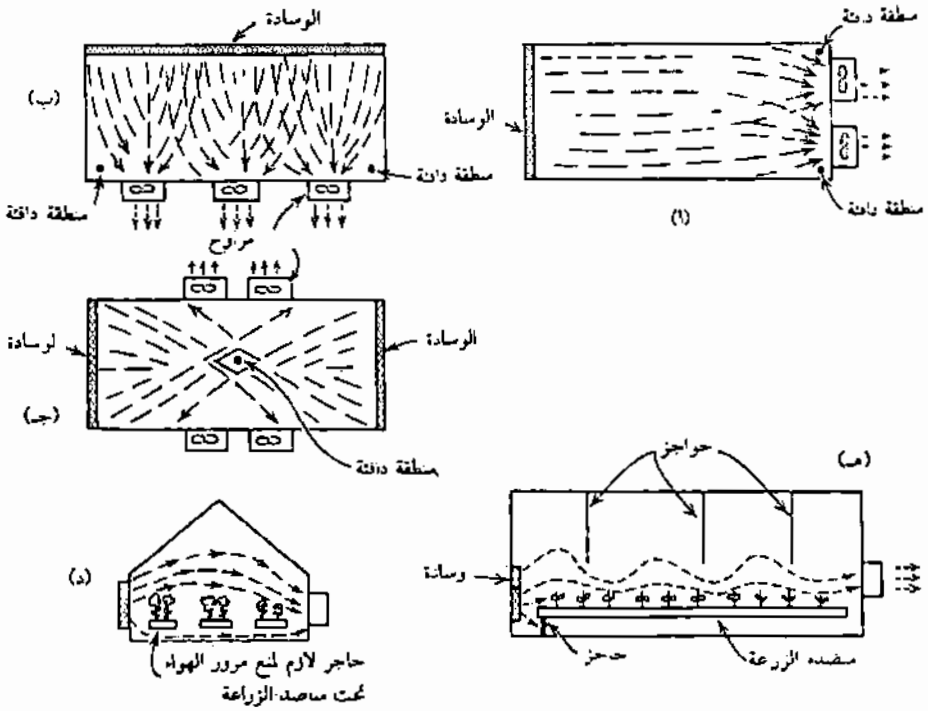
شكل (٣-١١): وضع المراوح والوسائد فى البيوت المحمية. (أ) على امتداد الجانبين الطويلين للبيت، (ب) على امتداد الجانبين القصيرين للبيت، مع تثبيت حواجز من البلاستيك الشفاف تتدلى كل عشرة أمتار من قمة البيت لإجبار الهواء المبرد على اتخاذ مسار سفلى بين النباتات

هذا .. ويبين شكل (٣-١٥أ، ب، جـ) مسارات الهواء فى حالات الأوضاع المختلفة للوسائد والمراوح والأماكن التى تكون درجة حرارتها أكثر ارتفاعًا من بقية أجزاء البيت بسبب عدم وجودها فى مسار التحركات الهوائية. يلاحظ بالشكل أن درجة الحرارة تكون أكثر ارتفاعًا فى أركان البيت بالجانب الذى توجد فيه المراوح. كذلك يلاحظ فى حالة البيوت الكبيرة التى توضع فيها الوسائد فى الجانبين القصيرين والمراوح فى الجانبين الطوليين أن مركز البيت تكون حرارته أعلى من باقى أرجاء البيت، وذلك بسبب عدم وجوده فى مسار التيارات الهوائية (Mastalarez ١٩٧٧).

العوامل المؤثرة فى كفاءة التبريد

تتأثر كفاءة التبريد فى نظام المروحة والوسادة بالعوامل التالية:

١- مدى إحكام إغلاق البيت المحمى (الأبواب وفتحات التهوية) ومدى خلو غطاءه من أى تمزقات، ذلك لأن الهواء يسلك فى حركته أقل المسارات مقاومة، بينما تعتمد كفاءة التبريد على مرور كل الهواء الداخل للصوبة على وسائد التبريد.



شكل (٣- ١٢) مسارات الهواء داخل البيوت المبردة فى حالات الأوضاع المختلفة للمراوح والوسائد (أ) على امتداد الجانبين القصيرين للبيت (ب) على امتداد الجانبين الطويلين للبيت (جـ) الوسائد على امتداد الجانبين القصيرين، والمراوح فى الجانبين الطويلين للبيت. (د، هـ) عوائق أعلى النباتات وتحت مناضد الزراعة لإجبار الهواء المبرد على اتخاذ مسار بين النباتات (Mastalerz ١٩٧٧)

٢- مكان البيت المحمى واتجاهه وموقعه بالنسبة للإنشاءات القريبة منه:

تؤثر كل هذه العوامل على كفاءة التبريد من خلال تأثيرها على شدة تعرض البيت لأشعة الشمس، والرياح الصيفية السائدة، وظل الإنشاءات المجاورة له، كما أن لتلك العوامل تأثيرها على ترتيبات ومواقع مراوح السحب ووسائد التبريد

٣- نوع وسائد التبريد

إن أكثر أنواع وسائد التبريد شيوعا تصنع من السيليلوز المتموج والمجعد المشبع بمواد

رطبة وأملاح غير ذائبة للمساعدة فى مقاومة الأعفان، وهى غالية الثمن ولكنها عالية الكفاءة، ومع الصيانة الجيدة فإنها يمكن أن تعيش لعشر سنوات.

وفى الماضى كان يُستخدم نوع من الوسائد الرخيصة الثمن يسمى: aspen pads. هذه الوسائد كانت قصيرة العمر وتتحلل سريعًا بفعل نمو الطحالب عليها؛ مما يجعلها تندمج وتقل كفاءتها فى التبريد.

وكذلك تتوفر وسائد تُصنع من الألومنيوم ومن ألياف البلاستيك. ولكنها أكثر تكلفة، ولا تضيف مزايا جديدة على وسائد ألياف السيليلوز.

٤- مساحة وسائد التبريد:

تتوقف المساحة التى يلزم توفرها من وسائد التبريد على عدة عوامل، منها نوع الوسائد ذاتها. يجب أن تكون الوسائد مستمرة بامتداد جانب البيت. وعند $\frac{1}{8}$ بوصة ماء ضغط استاتيكى داخل الصوبة فإنه يجب توفر قدم مربع من الوسائد لكل ١٤٠ قدم مكعب من الهواء المسحوب فى الدقيقة فى حالة الوسائد الأسبين aspen pads، تزيد إلى ٢٣٠ قدم مكعب فى حالة وسائد السيليلوز؛ بما يعنى أن المساحة التى تلزم من وسائد ألياف السيليلوز تكون أقل من تلك التى تلزم من الوسائد الأسبين.

٥- معدل سحب الهواء الخارجى الدافئ.

٦- المشاكل التى تتعرض لها وسائد التبريد:

تتعرض الوسائد لمشكلتين رئيسيتين؛ هما: تراكم الأملاح بها، ونمو الطحالب عليها. وتعالج مشكلة الأملاح إما بزيادة معدل مرور الماء من خلال الوسائد — كثيرًا — عن معدل تبخره. وإما بتنظيم عمل مضخة الماء؛ بحيث تستمر فى ضخ الماء عليها لفترة وجيزة بعد توقف المروحة عن العمل؛ الأمر الذى يعمل على غسيل الأملاح التى ربما تكون قد تراكمت عليها.

أما الطحالب فهى قد تنمو على الوسائد السيليلوزية بعد فترة تتراوح بين سنتين وثلاث سنوات من الاستعمال، وهى لا تتلف الوسائد. ولكنها قد تسدّ منافذ الماء فيها؛ الأمر الذى

يقلل من كفاءتها فى التبريد. وتعالج هذه المشكلة بحقن محلول هيبوكلوريت الصوديوم (محلول تبييض الغسيل التجارى) بتركيز ١٪ فى مصدر مياه الوسادة، وهو ما يكفى لجعل تركيز الكلورين فى الماء المستعمل بين ٣ و ٥ أجزاء فى المليون ويكفى نحو ١١٤ لترًا من محلول هيبوكلوريت الصوديوم شهريًا لجعل ٣٠ مترًا من الوسائد التى بسمك ١٥ سم خالية من النمو الطحلبى.

ومن أهم عيوب استعمال هيبوكلوريت الصوديوم أنه يرفع رقم حموضة (pH) الماء، الأمر الذى يؤدى إلى ليونة الوسادة إذا ارتفع الـ pH عن ٩ ، (كما يجب ألا ينخفض الرقم عن ٦٠)

ومن بدائل حقن هيبوكلوريت الصوديوم فى مياه الوسائد رشه على الوسائد على فترات. وحقن فوق أكسيد الأيدروجين Hydrogen Peroxide لتجنب ارتفاع الـ pH، واستعمال تحضيرات تجارية خاصة تقتل النموات الفطرية، والبكتيرية، والطحلبية (Biocides) فى الوسائد، مثل التحضير التجارى Oakite الذى يضاف إلى خزان مياه الوسائد مرة أو مرتين أسبوعيًا

٧- الرطوبة النسبية وحرارة الترمومتر المبتل:

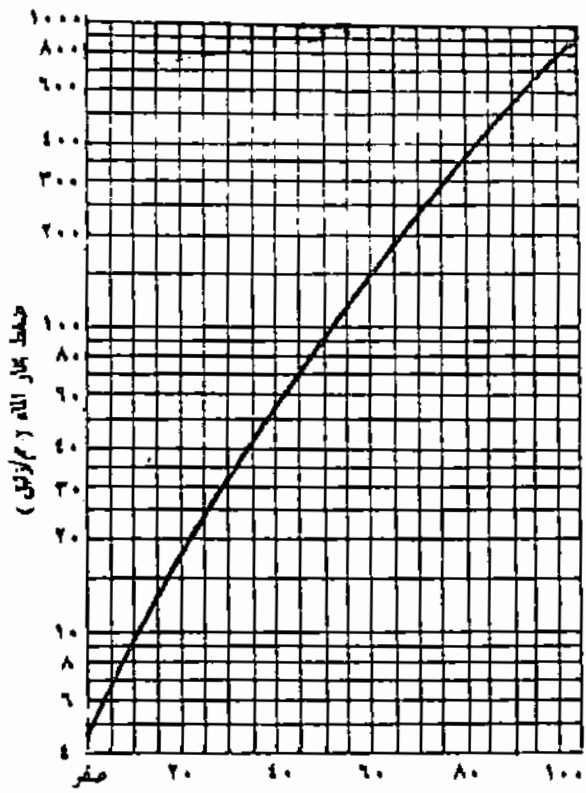
إن حرارة الترمومتر المبتل هى أقل حرارة يمكن الوصول إليها عن طريق تبخير الماء فقط.

يتطلب تبخر كل جالون من الماء عند الوسادة ٨١٠٠ وحدة حرارية بريطانية يحصل عليها الماء من الهواء المار من الوسادة والملامس للماء ويكون الهواء الداخل إلى الصوبة — بعد مروره على الوساده المبتلة - فى أقل حرارة له بعد تركه للوسادة مباشرة، ولكنه يكتسب حرارة مع مروره على الأجسام الدافئة فى الصوبة ويترتب على ذلك وجود تدرج حرارة فى الصوبة من أقل ما يمكن عند الوسادة إلى أعلى ما يمكن عند مروحة السحب.

ونظرًا لأنه لا يمكن التحكم فى الرطوبة النسبية للهواء الخارجى، فإن هذا العامل لا يؤخذ فى الحسبان عند حساب احتياجات التبريد، لكن يجب أن نتذكر أن أقصى درجة

تبريد يمكن الحصول عليها بهذه الطريقة تبلغ حوالى ٨٠٪ من الفرق بين قراءتى الترمومترين الجاف والمبتل خارج البيت. وبذلك يزداد التبريد الممكن تحقيقه كلما ازداد الفرق بين القراءتين، أى كلما ازدادت مقدرة الهواء على تبخير الماء، أى كلما انخفضت الرطوبة النسبية. وتصبح فعالية هذه الطريقة فى التبريد معدومة تقريبًا عندما تصل الرطوبة النسبية إلى حوالى ٨٠٪.

هذا .. وتزداد قدرة الهواء على حمل الرطوبة كلما ارتفعت درجة حرارته (شكل ٣-١٣).



شكل (٣-١٣) العلاقة بين درجة حرارة الهواء وقدرته على حمل الرطوبة.

ومع زيادة قدرة الهواء على حمل الرطوبة — عند ارتفاع درجة حرارته — فإن رطوبته النسبية تنخفض تلقائيًا (بفرض عدم زيادة محتواه الرطوبى)؛ وبذا .. تزداد

كفاءة عملية التبريد بنظام المروحة والوسادة وتتضح هذه العلاقة فى جدول (٣-٨)، وشكل (٣-١٤)

جدول (٣-٨) كفاءة التبريد بنظام المروحة والوسادة (على أساس أن التبريد يكون فى حدود ٨٠٪ من الفرق بين درجة حرارة الترمومترين الجاف والمبتل) عند اختلاف الرطوبة النسبية فى الجو الخارجى من ٥٪ إلى ٢٠٪ وحرارة الهواء الداخل إلى الصوبة من ٣٠-٤٥ م (عن كتالوج شركة Munters).

الظروف الخارجية		الظروف داخل الصوبة بعد مرور الهواء من وسادة التبريد	
الرطوبة النسبية (٪)	الحرارة (م)	الرطوبة النسبية (٪)	الحرارة (م)
٥	٤٥	٦٢	٢٤
٥	٤٠	٦٣	٢١
٥	٣٥	٦٥	١٩
٥	٣٠	٦٦	١٦
١٠	٤٥	٦٦	٢٦
١٠	٤٠	٦٧	٢٣
١٠	٣٥	٦٩	٢٠
١٠	٣٠	٧٠	١٧
٢٠	٤٥	٧٣	٢٩
٢٠	٤٠	٧٣	٢٦
٢٠	٣٥	٧٤	٢٢
٢٠	٣٠	٧٤	١٩

معادلة حساب حرارة الهواء الخارج من وسادة التبريد

يمكن حساب حرارة الهواء الخارج من وسادة التبريد بالمعادلة التالية

$$T_{\text{خارج}} = T_{\text{داخل}} - (\%\ \text{efficiency})(T_{\text{داخل}} - T_{\text{مبتل}})$$

حيث إن:

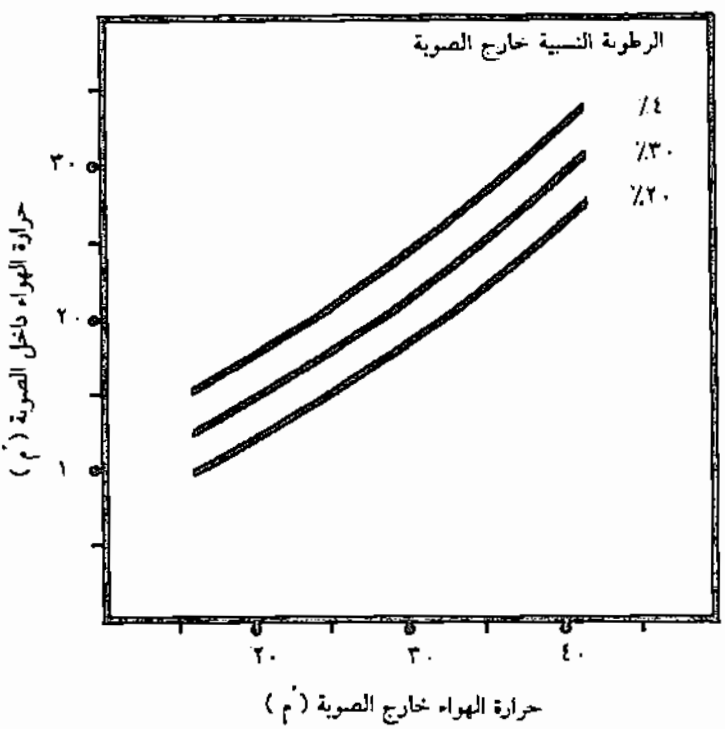
T_{cool} = حرارة الهواء الخارج من وسادة التبريد.

T_{out} = حرارة الهواء الخارجى.

efficiency % = كفاءة نظام التبريد.

T_{wb} = حرارة الترمومتر المبتل للهواء الخارجى.

هذا . علما بأن نظام التبريد الجيد التصميم والتنفيذ والمعتنى به يمكن أن تصل كفاءته فى التبريد إلى ٨٥٪ ، بمعنى أن الهواء الداخل إلى الصوبة تكون هى حرارة الهواء الخارجى (حرارة الترمومتر الجاف) مطروحًا منها ٨٥٪ من الانخفاض الحادث ف حرارة الترمومتر المبتل (أى ٨٥٪ من الفرق بين حرارة الترمومتر الجاف والترمومتر المبتل).



شكل (٣-١٤): العلاقة بين درجة حرارة خارج البيت وداخله عند اختلاف نسبة الرطوبة فى الهواء الخارجى من ٢٠٪ إلى ٤٠٪ (عن كتالوج شركة **Sita**).

العوامل التى تؤخذ فى الحسبان لتصحيح احتياجات التبريد

إن أهم العوامل التى يتم تصحيح احتياجات التبريد على أساسها، ما يلى:

١- منسوب البيت (ارتفاعه عن سطح البحر).

من الضرورى زيادة معدل سحب الهواء من البيت عند ارتفاع منسوبه عن ٢٠٠ متر عن سطح البحر؛ لأن مقدرة الهواء على التبريد تعتمد على وزنه وليس على حجمه، علمًا بأن كثافة الهواء تقل كلما ارتفعنا عن سطح البحر. ولهذا . يجب استعمال معامل خاص لتصحيح المعدل اللازم لسحب الهواء من البيت يرمز إليه بالرمز (F_{elev})، أو معامل التصحيح الخاص بالمنسوب أو الارتفاع عن سطح البحر (جدول ٣-٩).

جدول (٣-٩) معامل التصحيح الخاص بالمنسوب أو الارتفاع عن سطح البحر (F_{elev})

	الارتفاع عن سطح البحر (متر)								
	أقل من	٣٠٠	٣٠٠	٦٠٠	٩٠٠	١٢٠٠	١٥٠٠	١٨٠٠	٢١٠٠	٢٤٠٠
F_{elev}		١,٠٠	١,٠٤	١,٠٨	١,١٢	١,١٦	١,٢٠	١,٢٥	١,٣٠	١,٣٦

٢- المسافة من الوسائد إلى المراوح

يجب أن تكون الوسائد والمراوح متقابلة ويتوقف استخدام الحوائط المختلفة لهذا الغرض على أبعاد البيت؛ لأن المسافة بين الوسادة والمروحة يجب أن تكون فى حدود ٣٠-٦٠ مترا فإذا زادت المسافة عن ذلك يحتاج الأمر إلى مراوح ضخمة. وإذا نقصت المسافة عن ٣٠م لا ينتشر الهواء المبرد فى كل أرجاء البيت، بل يميل فى حركته نحو مسار ضيق من الوسادة إلى المروحة وتلزم فى هذه الحالة زيادة سرعة سحب الهواء من البيت لتصحيح ذلك الوضع ويستخدم لذلك معامل خاص للتصحيح يرمز إليه بالرمز ($F_{...}$)، أو معامل التصحيح الخاص بالمسافة من الوسادة إلى المروحة (جدول ٣-١٠)

٣ شدة الإضاءة داخل البيت

يحتاج الأمر إلى معامل تصحيح ثالث خاص بشدة الإضاءة داخل البيت عند اختلافها عن ٥٠٠ قدم — شمعة (٥٣,٨ klux) يرمز له بالرمز ($F_{...}$)، ويحصل عليه من جدول

(٣-١١)، ويرجع ذلك إلى زيادة الطاقة الحرارية المتحصل عليها من الشمس مع زيادة شدة الإضاءة

جدول (٣-١٠) معامل التصحيح الخاص بالمسافة من الوسادة إلى المروحة (F_{vel}).

المسافة (م)	معامل التصحيح	المسافة (م)	معامل التصحيح	المسافة (م)	معامل التصحيح
٦,٠	٢,٢٤	١٥,٠	١,٤١	٢٤,٠	١,١٢
٧,٥	٢,٠٠	١٦,٥	١,٣٥	٢٥,٥	١,٠٨
٩,٠	١,٨٣	١٨,٠	١,٢٩	٢٧,٠	١,٠٥
١٠,٥	١,٦٩	١٩,٥	١,٢٤	٢٨,٥	١,٠٢
١٢,٠	١,٥٨	٢١,٠	١,٢٠	٣٠,٠	١,٠٠
١٣,٥	١.٤٨	٢٢,٥	١,١٦		

٤- الفرق المسموح به فى درجة الحرارة بين الوسادة والمروحة:

يحتاج الأمر إلى معامل تصحيح رابع للفرق الذى يُسمح به فى درجة الحرارة بين الوسادة والمروحة، لأن المعدل القياسى لسحب الهواء — وهو ٢,٥م^3/دقيقة/م^2 من مساحة البيت — يأخذ فى الحسبان فرقًا قدره ٤ درجات مئوية (أو ٧ درجات فهرنهيتية) بين درجة حرارة الهواء الداخل إلى البيت بعد مروره على الوسادة ودرجة حرارة الهواء الخارج من البيت عند المروحة. ويمكن تصحيح ذلك باستخدام معامل خاص يرمز إليه بالرمز (F_{temp}). ويعرف باسم معامل التصحيح الخاص بالفرق المسموح به فى درجة الحرارة بين الوسادة والمروحة، ويحصل عليه من جدول (٣-١٢).

وكقاعدة عامة .. عندما لا يزيد ارتفاع منسوب البيت على ١٠٠٠ قدم (٣٠٠ متر) عن سطح الأرض. وعندما لا تزيد شدة الإضاءة داخل البيت على ٥٠٠٠ قدم — شمعة (٥٣,٨ klux). فإن معدل سحب الهواء من البيت يجب أن يكون فى حدود ٨ أقدام مكعبة فى الدقيقة لكل قدم مربعة من مساحة البيت (٢.٥م^3 فى الدقيقة لكل متر مربع من مساحة

البيت)، مع افتراض أنه يسمح بفرق سبع درجات فهرنهيتية (حوالى أربع درجات مئوية) بين المروحة والوسادة، وأن المسافة بين المراوح والوسائد تزيد على ١٠٠ قدم (حوالى ٣٠ مترًا)

فإذا أخل بأى من هذه الشروط والفروض لزم استعمال المعامل الخاص لتصحيح المعدل اللازم لسحب الهواء من البيت عن المعدل المذكور وهو ٢,٥م^{3}/دقيقة/م^{2} من مساحة البيت

جدول (٣-١١) معامل التصحيح الخاص بشدة الإضاءة داخل الصوبة (F_{light})

شدة الإضاءة								
قدم-شمعة	٤٠٠٠	٤٥٠٠	٥٠٠٠	٥٥٠٠	٦٠٠٠	٦٥٠٠	٧٠٠٠	٧٥٠٠	٨٠٠٠
كيلو لكس klux	٤٣,١	٤٨.٤	٥٣,٨	٥٩,٢	٦٤,٦	٧٠,٠	٧٥,٣	٨٠,١	٨٦,١
F_{light}	٠,٨٠	٠,٩٠	١,٠٠	١,١٠	١,٢٠	١,٣٠	١,٤٠	١,٥٠	١,٦٠

جدول (٣-١٢) معامل التصحيح الخاص بالفرق المسموح به فى درجة الحرارة داخل البيت بين المروحة والوسادة (F_{temp})

الفرق المسموح به فى درجة الحرارة (م)						
	٥٦	٥٠	٤٤	٣٩	٣,٣	٢,٨	٢,٢
F_{temp}	٠,٧٠	٠,٧٨	٠,٨٨	١,٠٠	١,١٧	١,٤٠	١,٧٥

حساب احتياجات البيت من المراوح والوسائد ومياه التبريد

تمر حساب احتياجات البيت من المراوح والوسائد بالخطوات التالية

١- يحسب أولا المعدل اللازم لسحب الهواء من البيت تحت الظروف القياسية السابقة الذكر. ويقدر ذلك بالمعاملة التالية

معدل سحب الهواء من البيت تحت الظروف القياسية بالمتر المكعب فى الدقيقة = طول البيت بالمتر × عرض البيت بالمتر × ٢,٥

٢- يلى ذلك تصحيح المعدل ليتناسب مع الظروف الخاصة بالبيت؛ وذلك بضرب المعدل المحسوب من الخطوة السابقة فى معامل التصحيح الأكبر من أحد المعاملين التاليين:

أ- معامل التصحيح الخاص بالمسافة من الوسادة إلى المروحة (F_{vel}) (جدول ٣-١٠).

ب- معامل التصحيح للبيت (F_{house}) علمًا بأن:

$F_{elev} = F_{house}$ (جدول ٣-٩) × F_{light} (جدول ٣-١١) × F_{temp} (جدول ٣-١٢).

ويجب أن يكون المعدل المحسوب كافيًا لتغيير هواء البيت كله بمعدل ١,٥-٢,٠ مرة فى الدقيقة

ويعتبر جدول (٣-١٣) مرشدًا للاستدلال به على صحة حسابات معدل سحب الهواء من الصوبة

جدول (٣-١٣): معدلات سحب الهواء من الصوبة عند اختلاف مستوى التظليل داخل الصوبة.

مستوى التظليل	الإشعاع الشمسى (أ) (وات W /م٢)	معدل سحب الهواء (م٣ / م٢ من مساحة البيت/ساعة)
١٠	٨١٠	٢٥٤
٢٠	٧٢٠	٢٢٥
٣٠	٦٣٠	١٨٩
٤٠	٥٤٠	١٦٩

(أ) أجريت الحسابات على أساس أن شدة الإشعاع الشمسى خارج البيت ٩٠٠ وات W/م٢.

٣- يتم بعد ذلك اختيار المراوح بالعدد والقدر المناسبين. وتثبت المراوح فى جدار البيت المقابل للوسائد. بحيث لا تزيد المسافة بين كل مروحتين على ٧,٥م، وأن يكون توزيعها متجانسًا على امتداد البيت. وعلى ارتفاع واحد من سطح الأرض، على أن يكون مركزها فى مستوى منتصف النمو النباتى للنباتات المرباة رأسيًا.

٤- يراعى ألا تزيد سرعة الهواء الذى يمر من خلال الوسائد على ١,٥ متر/ثانية؛ نظرا لأن السرعات الأعلى من ذلك يصاحبها تفريغ كبير داخل البيت؛ مما يؤثر على كفاءة المراوح

٥- تحسب مساحة الوسائد اللازمة على أساس أن كل ٤٥م^{٣} من الهواء المسحوب من البيت فى الدقيقة يلزمه متر مربع من الوسائد الحديثة بسمك ١٠ سم (يزداد هذا المعدل بمقدار الثلثين عند استعمال وسائد القش وقُشارة الخشب ... إلخ). ونظرًا لأن الوسائد يجب أن تمتد بكامل جدار البيت؛ لذا فإن عرضها يتوقف على المساحة اللازمة منها، كما يمكن التحكم فى العرض باختيار السمك المناسب.

٦- تزود الوسائد بالماء بمعدلات تزيد على القدر المتبخر منها؛ حتى لا تتراكم بها الأملاح والمعدل المناسب هو ٠,٦ جالونًا فى الدقيقة لكل قدم طولية من الوسادة التى تكون بسمك ١٠ سم (أو حوالى ٤,٧ لترًا/دقيقة/متر طولى). بغض النظر عن عرضها (ارتفاعها) ويعنى ذلك أنه لو كان طول الوسادة ١٥م، فإنه يلزم ضخ الماء بمعدل ١١١ لترًا فى الدقيقة

ويجب أن يتسع الخزان لـ ٢٠ لترا من الماء لكل متر طولى من الوسادة؛ حتى يمكنه استيعاب كل الماء الذى يمر فى الوسادة عند توقف التبريد

كما يجب توفير مصدر دائم للماء، نظرًا لتبخر جزء منه فى عمليات التبريد. ويتحقق ذلك بإيصال خزان الماء بأنبوبة ماء ذات صمام مزود بعوامة، علمًا بأنه يمكن أن يتبخر ٠,٤١ لترا من الماء فى الدقيقة لكل متر مربع من الوسادة فى يوم حار جاف.

مثال:

يُراد إجراء الحسابات اللازمة لتصميم عملية تبريد صوبة تبلغ أبعادها ١٥م × ٣٠م بنظام المروحة والوسادة، علمًا بأن الصوبة تقع على ارتفاع ٩٠٠م من سطح البحر، وأنها مزودة بستائر تظليل تجعل شدة الإضاءة بداخلها ٥٠٠٠ قدم — شمعة (٥٣,٨ klux)، وأنه يسمح بفرق قدره ٤ درجات مئوية فى الحرارة بين الوسادة والمروحة، وأن الوسائد السيليلورية التى يُراد استعمالها يبلغ سمكها ١٠ سنتيمترات

تكون الحسابات حسب التسلسل التالى:

١- المعدل اللازم لسحب الهواء من الصوبة.

= عرض الصوبة × طول الصوبة × ٢,٥

= ١٥ × ٣٠ × ٢,٥ = ١١٢٥م٣/دقيقة

٢- يُحسب معامل التصحيح للصوبة F_{house} كما يلى:

$$F_{temp} \times F_{light} \times F_{elev} = F_{house}$$

وبالاعتماد على البيانات المتوفرة لدينا عن الصوبة، وجداول (٣-٩، و ٣-١١، و ٣-١٢) . نجد أن:

$$F_{house} = 1,12 \times 1,0 \times 1,0 = 1,12$$

٣- يراجع معامل التصحيح الخاص بالمسافة من الوسادة إلى المروحة F_{vel} (جدول ٣-١٠)، ويتم اختيار جدارين متقابلين تبلغ المسافة بينهما أقرب ما تكون إلى المدى المسموح به وهو ٣٠-٦٠ مترًا، وبذا يختار الضلعان الواقعان فى نهايتى الصوبة. والتى تبلغ المسافة بينهما ٣٠ مترًا.

ويعنى ذلك أن $F_{vel} = 1,0$

٤- يُضرب معدل سحب الهواء المتحصل عليه من الخطوة الأولى (١١٢٥م٣/دقيقة) فى أى من معاملى التصحيح: F_{house}، أو F_{vel} - أيهما أكبر - (الأكبر هو F_{house} فى هذا المثال)، وبذا يكون المعدل اللازم لسحب الهواء من الصوبة = ١١٢٥ × ١,١٢ = ١٢٦٠م٣/دقيقة.

٥- يُحسب عدد المراوح اللازمة للصوبة على ألا يزيد المسافة بينها (بين مراكزها) على ٧,٥م، وبذا يكون العدد اللازم من المراوح ١٥ ÷ ٧,٥ = ٢ مروحة.

٦- تحسب قوة سحب الهواء التى تجب أن تعمل بها المروحة الواحدة، وهى ١٢٦٠ ÷ ٢ = ٦٣٠م٣/دقيقة.

ويتم تركيب المروحتين فى أحد الجانبين القصيرين للصوبة، على مسافات متساوية من الجانبين وبينهما.

٧- تحسب مساحة الوسائد اللازمة. علمًا بأنه يلزم متر مربع من الوسائد لكل ٧٥م٣ من الهواء الذى يلزم سحبه من خلالها فى كل دقيقة. وهو ما يعنى أنه يلزم

١٢٦٠م٣/ دقيقة ÷ ٧٥م٣/ دقيقة = ١٦٨م٢ من الوسائد للصوبة

٨- يجب تثبيت الوسائد – بالمساحة التى تلزم منها – على امتداد جانب الصوبة المخصص لها؛ أى بامتداد ١٥ مترًا فى هذا الشأن، وهو ما يعنى أنها يجب أن تكون بارتفاع

١٦٨م٢ ÷ ١٥م = ١١ مترًا

٩ يتم بعد ذلك تحديد قدرة الموتور اللازمة لضخ الماء على الوسادة، بحيث يكون الضخ بمعدل ٧٤ لترًا فى الدقيقة لكل متر طولى من الوسادة. أى

٧٤ لترا دقيقة × ١٥م = ١١١ لترا / دقيقة

١٠- يحدد بعد ذلك الحجم اللازم لخزان مياه الوسادة، بحيث يتسع لنحو ١٨,٦ لترا لكل متر طولى من الوسادة. أى

١٨٦ لتر × ١٥ م = ٢٧٩ لترًا (عن Nelson ١٩٨٥).

نظم التظليل للحد من ارتفاع درجة الحرارة

بينما تعد التهوية كافية لتبريد البيوت المحمية فى أول النهار وآخره، وخاصة فى الشهور معتدلة الحرارة. وبينما يكون التبريد بنظام المروحة والوسادة كافيين فى الأوقات التى ترتفع فيها درجة الحرارة حتى حدود معينة، فإن ذلك وحده لا يكون كافيًا فى الشهور التى تشتد فيها درجة الحرارة كثيرا. والتى لا يكفى فيها نظام التبريد بالمروحة والوسادة للتغلب على الحرارة الزائدة التى تتولد داخل الصوبة جراء الأشعة الشمسية، فى تلك الحالات يلزم توفير نظام للتظليل

ويتوفر للتظليل وسيلتين. هما

١- الطلاء:

يستعمل لذلك طلاء أبيض من السطح الخارجى للغطاء البلاستيكى للصوبة وبينما يشيع استخدام الجير والسبيداج لهذا الغرض صيفًا، فإنه يتوفر – كذلك – منتجات

تؤدى نفس الغرض ولا تؤثر على البلاستيك مثل فلترا سول Feltra-Sol، وهو يتوفر محليًا.

كما تتوفر منتجات تجارية (مثل Varishade) تُعامل بها أغطية البيوت المحمية (سواء كانت من الزجاج أو البلاستيك الجامد أو اللين) فتصبح نصف معتمة وتعكس جزءًا من الأشعة الضوئية فى الأيام الحارة المشمسة، أما فى الجو الملبد بالغيوم فإن أغطية البيوت المحمية المعاملة تُصبح صافية وتسمح بنفاذ أكبر قدر من الأشعة الشمسية. وتتكرر هذه الدورة بين العتامة والشفافية على الدوام. يتوفر هذا المنتج على صورة سائل مركز يتعين تخفيفه بالماء بنسبة ١ : ٢ أو ١ : ٣ حسب شدة العتامة المطلوبة. ويمكن المعاملة بالمنتج باستعمال فرشاة أو بكرة أو رشًا. ويتعين أن تكون الأسطح المراد معاملتها نظيفة تمامًا وجافة قبل المعاملة، كما يجب جفاف الأسطح بعد المعاملة ليثبت المنتج مكانه، لكن لا يضيره ابتلاله بعد ذلك.

٢- شباك أو أقمشة التظليل (أو السيران):

تُصنع أنسجة التظليل shade cloth (أو السيران) من خيوط البوليثيلين المشبكة knitted أو البوليستر المنسوج woven، أو من البولى بروبلين، وهى منفذة للماء. تستخدم أنسجة التظليل لخفض كل من: شدة الإضاءة، والحرارة والتعرض للرياح وقد تستعمل أنسجة التظليل منفردة أو مع الغطاء البلاستيكى.

تتوفر أنسجة التظليل باللونين الأبيض والأسود وبعدة درجات من الأخضر والبنى. وقد تكون الأنسجة البيضاء أكثر فاعلية فى خفض درجة الحرارة باعتبار أنها تعكس ضوءًا أكثر مما تعكسه أى من الألوان الأخرى.

وتتوفر أنسجة للتظليل بنسب تتراوح بين ٢٠٪، و ٩٠٪، ويتوقف الاختيار المناسب لأى منها بمدى الحاجة للتظليل، ومدى الارتفاع فى درجة الحرارة. وأغلب الظن لا تزيد الحاجه للتظليل لأجل الإنتاج التجارى للخضر عن ٦٠٪ فى أشد شهور الصيف حرارة.

تستعمل شباك أو أقمشة التظليل إما فوق الغطاء البلاستيكى، وإما فوق هيكل البيت المحمى. وذلك عند عدم الرغبة فى استعمال الغطاء البلاستيكى فى الشهور الحارة، وخاصة عند عدم توفر نظام للتبريد. كما قد يستعمل قماش التظليل داخل الصوبة – أعلى

مستوى النباتات — على تعريشه trellis وقد يحتاج الأمر إلى شباك أو قماش التظليل الخارجي مع القماش الداخلي ومن أهم عيوب استعمال قماش التظليل الداخلي فقط أن الهواء الساخن الذي يتجمع أعلى منه تسحبه مراوح إلى أسفل عند تشغيل التبريد بالمروحة والوسادة ومن عيوب الاعتماد على الطلاء أو شباك أو قماش التظليل الخارجي فقط أن لتظليل يجب أن يكون بدرجة عالية لكي يكون فعالا، مما قد يترتب عليه ضعف شدة الإضاءة داخل الصوبة عما يلزم للنمو الجيد

ومن أساليب التظليل المناسبة تركيب غطاء من البولي بروبلين يعطي ٣٠٪ تظليل، محمولاً على الهيكل الخارجي للصوبة، مع تركيب غطاء بروبولين آخر يوفر ٢٠٪ تظليل فوق أسلاك التحميل ويمكن أن يبدأ التظليل بالغطاء السفلي مبكرًا في مارس ومع اقتراب نهاية مارس يقتصر التظليل على الغطاء العلوي، ثم يستعان بكلا الغطاءين في منتصف أبريل. وعلى أن يوقف التظليل مع أول نوفمبر (Hochmuth ١٩٩٠)

وبينما يعاب على طلاء التظليل عدم إمكان التحكم في مدى حجبه للضوء حسب التغير اليومي في شدة الإضاءة.. فإن قماش التظليل يمكن تحريكه جانبيًّا في الأيام التي لا تشتد فيها الحرارة كما قد يمكن وضع ستارة داخلية متحركة تحت مستوى سقف البيت المحمي يمكن فردها أو ضمها حسب الحاجة إلى تظليل

وفي حدى الدراسات وجد أن تظليل البيوت المحمية (في زراعات الطماطم) بالشباك البلاستيكية التي توفر ٢٠٪ تظليل أدى إلى خفض حرارة الهواء والتربة، وإلى خفض شدة الإشعاع الشمسي داخل الصوبة إلى ٥٠٪ من الإشعاع الشمسي الخارجي، مقارنة بانخفاض إلى ٧٠٪ فقط في الصوبات البلاستيكية غير المظللة. كذلك أدى التظليل إلى تقليل الإصابة بتعفن الطرف الزهري وإلى خفض المحصول (Francescangeli وآخرون ١٩٩٤)

التهوية

توجه عناية كبيرة نحو نظام التهوية ventilation في البيوت المحمية، لأنها تحقق

المزايا التالية:

١- تعمل التهوية على خفض درجة الحرارة سريعًا داخل البيوت المحمية، فتقل بذلك احتياجات التبريد، كما يمكن عند اتباع نظام جيد للتهوية الاستغناء عن التبريد كلية خلال فصل الصيف فى المناطق المعتدلة، وخلال فصل الشتاء فى المناطق الحارة.

٢- تؤدى التهوية إلى تجديد هواء البيت؛ فيمكن بذلك المحافظة على التركيز الطبيعى لغاز ثانى أكسيد الكربون؛ لأن تركيز الغاز يقل سريعًا فى البيوت غير الجيدة التهوية لاستنفاذه من قبل النباتات فى عمليات البناء الضوئى. هذا . ويؤدى انخفاض تركيز ثانى أكسيد الكربون (بسبب سوء التهوية). مع زيادة شدة الإضاءة إلى نقص شديد فى الكفاءة التمثيلية للنبات (Stanghellini ١٩٩٤).

٣- غالبًا ما تصل الرطوبة النسبية داخل البيوت المحكمة الإغلاق إلى درجة التشبع. وتحت هذه الظروف يزداد انتشار الأمراض، كما يزداد تكثف قطرات الماء على الجدر الداخلية للبيت فى الجو البارد ولا توجد وسيلة فعالة لإحداث خفض ملموس فى الرطوبة النسبية إلا بالتهوية الجيدة، وبذلك فإنها تقلل من فرصة انتشار الأمراض؛ وتؤدى إلى التخلص من ظاهرة تكثف قطرات الماء وسقوطها على النباتات.

وتُعد التهوية غاية فى الأهمية صيفًا وشتاءً.

ففى الشتاء — وحتى مع التدفئة — لابد من التهوية لاستبدال الهواء المحمل بالرطوبة بهواء جديد تقل فيه الرطوبة النسبية كما أن بقاء الصوبة مغلقة دون تهوية يؤدى إلى استنفاد ثانى أكسيد الكربون اللازم لعملية البناء الضوئى؛ يمكن أن ترتفع رطوبة الهواء — بدون تهوية — إلى أكثر من ٩٠٪. وهى حالة محفزة للغاية للإصابة بمختلف الأمراض، ولكن التهوية يمكنها خفض الرطوبة إلى ٧٠٪ أو أقل، وهو مستوى تقل معه الإصابات المرضية، كما فى حالة العفن الرمادى على سبيل المثال كذلك تقلل الرطوبة المنخفضة من ظاهرة التكثف المائى ولذا .. يجب أن تُجرى التهوية بمعدل يساعد على خفض الرطوبة، ولكن دون إحداث زيادة كبيرة فى تكاليف التدفئة ويلزم — غالبًا — تغيير هواء الصوبة — شتاءً — بمعدل ٢-٣ مرات كل ساعة. وكلما ارتفعت حرارة الهواء داخل الصوبة كلما قلت الحاجة

للتهوية للمحافظة على مستوى منخفض من الرطوبة النسبية ولكن لا يجب – أبدًا – أن يقل معدل تغيير هواء الصوبة عن مرتين فى الساعة فإلى جانب خفض الرطوبة. فإن تلك التهوية تعمل على التخلص من الغازات التى قد تتسرب إلى داخل الصوبة عند حرق الوقود المستخدم فى التدفئة كذلك لا توجد أى فائدة من زيادة معدل تغيير هواء الصوبة عن أربع مرات فى الساعة شتاءً

أما خلال الصيف فإن معدل تغيير هواء الصوبة يجب أن يكون مرة فى الدقيقة، ولكن المدى – يتوقف حسب درجة الحرارة وشدة الإضاءة – بين مرة كل ثلاث دقائق إلى ثلاث مرات فى الدقيقة

وعلى الرغم من عدم إمكان الاعتماد على التهوية الطبيعية فى توفير الظروف المثلى داخل الصوبة. فإن التهوية الطبيعية تتميز – مقارنة بالميكانيكية – بعدم وجود أى تكلفة لها. وبعدم حدوث أى مشاكل عند انقطاع التيار الكهربائى (Buffington وآخرون ٢٠٠٢)

يجب أن يسمح نظام التهوية بتحريك الهواء خلال المحصول وفوق الأرضيات لمنع ارتفاع الحرارة كثيرا حول النباتات وكقاعدة عامة يجب أن يسمح نظام التهوية بتغيير كامل لهواء الصوبة مرة واحدة – على الأقل – كل دقيقة. وكلما ازدادت كفاءة التهوية ازداد الانخفاض فى حرارة الصوبة. وأصبح الهواء أكثر مناسبة للمحصول المزروع، وازدادت – كذلك – التكلفة، إلاّ أن الهواء الداخل لن ينخفض حرارته – أبدًا – عن حرارة الهواء الخارجى اعتمادًا على التهوية فقط. ذلك لأن تحقيق ذلك يتطلب استعمال نظام للتبريد

التهوية من خلال منافذ خاصة فى الجدران والأسقف

تعتبر أبسط طرق التهوية هى بعمل فتحات خاصة فى جدران أو أسقف البيوت المحمية يتم من خلالها تغيير هواء البيت من الفتحات العلوية ليحل محله الهواء الخارجى البارد من الفتحات الجانبية

والقاعدة في هذه الطريقة للتهوية أنه كلما ازداد اتساع الفتحات، ازدادت سرعة خفض درجة الحرارة داخل البيت، وأمكن المحافظة عليها في المجال المناسب للنمو النباتي. ولتحقيق ذلك يجب ألا تقل مساحة فتحات التهوية عن ١٧٪ من مساحة البيت، والأفضل زيادتها إلى ٣٠٪.

تكفي في المناطق الباردة تواجد فتحات صغيرة – كالنوافذ – في سقف البيت، ولكن تلك الفتحات لا تكفي للتهوية في المناطق المعتدلة. التي يجب أن تتسع فيها فتحات التهوية. وتمتد ما بين شرائح البلاستيك المغلفة للبيت.

أما في المناطق الحارة، فإن فتحات التهوية يجب أن يزداد اتساعها وتتوزع في جوانب البيت والأسقف. كتلك المبينة في شكل (٣-١٥).

أما في المناطق الباردة التي تنتشر فيها البيوت الزجاجية من النوع الجمالوني المتناظر الانحدار على جانبي البيت، فإن فتحات التهوية يجب إغلاقها عند اشتداد الرياح؛ حتى لا تحدث تيارات هوائية شديدة داخل البيت قد يترتب عليها حدوث بعض الأضرار. أما في حالة الرياح الخفيفة. فإنه يمكن تشغيل فتحات التهوية في جانب البيت غير المواجه للرياح.

وعند الرغبة في عدم دخول الحشرات إلى البيت من فتحات التهوية، فإن الفتحات تغطى بشباك خاصة، كتلك المبينة في شكل (٣-١٥). والتي تظهر تفاصيلها، وكيفية التحكم في فتحها وإغلاقها في شكل (٣-١٦).

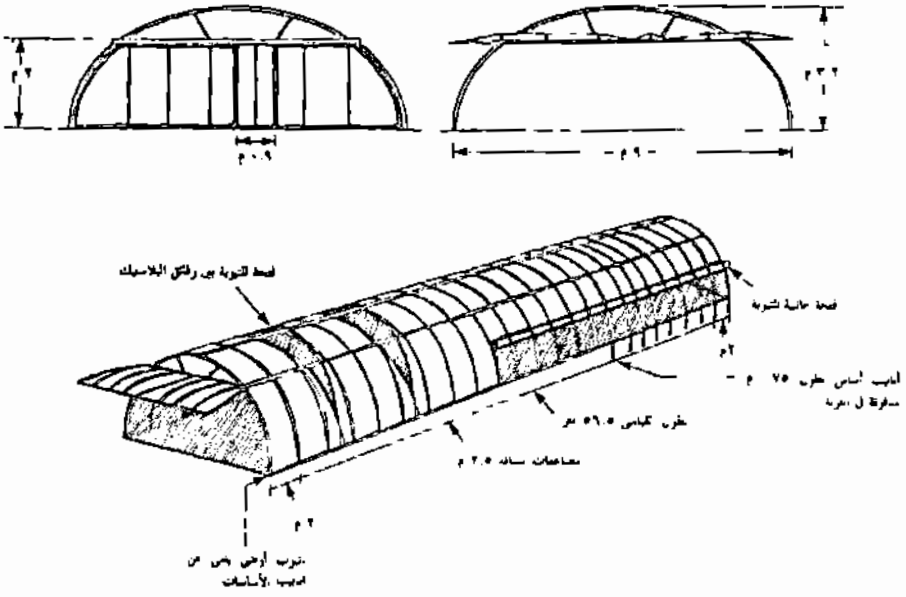
ويتم التحكم في فتح وإغلاق فتحات التهوية بإحدى الطرق الآتية:

١- يدويًّا بفتح أو إغلاق الأبواب أو فتحات التهوية الكبيرة

٢- يدويًّا بإدارة عجلة خاصة تتصل مع فتحات التهوية بأسلاك، أو بتروس يستعمل في هذا النظام سلك فولاذي بقطر ٣ مم يتصل بعجلة.

٣- آليًّا: حيث يتم توصيل فتحة التهوية بمنظم الحرارة الذي يعمل على تشغيل جهاز منافذ التهوية عند ارتفاع درجة الحرارة داخل البيت إلى الحد الأقصى المسموح

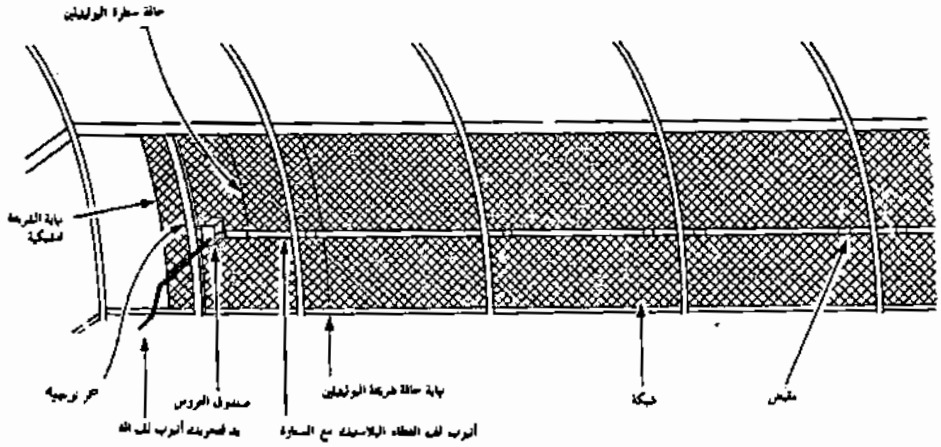
به



شكل (٣-١٥) أنواع مختلفة من فتحات التهوية الواسعة بين شرائح البلاستيك، وبامتداد الجانبين الطويلين، مع إمكانية رفع الأبواب إلى أعلى لزيادة التهوية (عن شركة Fordinbridge - إنجلترا)

التهوية بنظام المنافذ والمراوح

يتبع نظام المنافذ والمراوح للتهوية فى البيوت الكبيرة التى لا تفيد معها منافذ التهوية العادية. خاصة فى الجو الحار وتستخدم لأجل ذلك مراوح كبيرة تعمل على طرد الهواء الدافئ خارج البيت من أحد الجانبين ليحل محله هواء خارجى بارد من المنافذ التى توجد فى الجانب الآخر تظل المنافذ مفتوحة طوال الوقت فى الجو الحار، بينما يتم توصيل المراوح بمنظم الحرارة الذى يتحكم فى تشغيلها عند وصول درجة الحرارة داخل البيت إلى الحد الأقصى المسموح به



شكل (٣-١٦): تخطيط لفتحة قمية بامتداد الجانب الطولى للبيت بين الغطاء الشبكى للفتحة، وكيفية التحكم فى فتحها وإغلاقها (عن شركة Fordinbridge - إنجلترا).

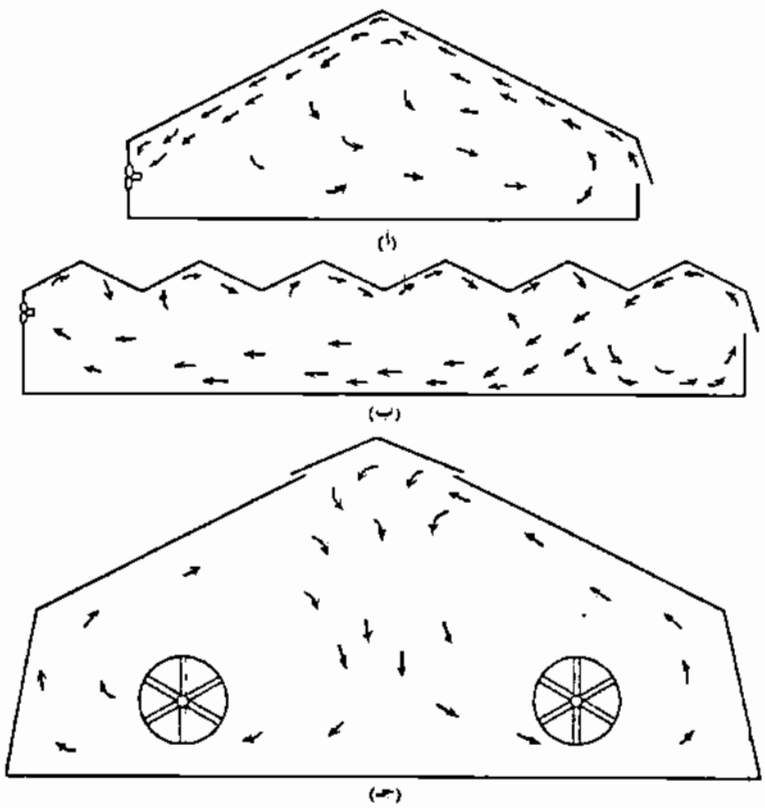
وللحصول على أعلى كفاءة ممكنة يجب أن تكون المراوح المستخدمة قادرة على سحب كل هواء البيت بمعدل مرة فى الدقيقة. ويفضل استخدام المراوح ذات السرعتين. أما منافذ التهوية، فيجب أن تكون مساحتها ٤-٥ أضعاف مساحة المراوح المستخدمة على الأقل (Sheldrake ١٩٧١).

يتبع هذا النظام عادة فى البيوت الكبيرة المجهزة بوسائل التبريد بالمروحة والوسادة؛ حيث يكتفى فيها بتشغيل المراوح فقط خلال فصل الشتاء حينما تكون درجة الحرارة معتدلة فى الجو الخارجى، بينما يتم تشغيل نظام التبريد فى الجو الحار.

ويبين شكل (٣-١٧) مسار التحركات الهوائية داخل البيت عند اتباع هذا النظام فى التهوية. وذلك فى كل من البيوت المفردة ذات الشكل الجمالونى المتناظر الانحدار والبيوت الكبيرة المتصلة بنظام القنوات والخطوط.

ولحساب احتياجات الصوبة من مراوح التهوية يُحسب حجم الصوبة من حاصل ضرب مقطع الصوبة فى طولها، ويكون ذلك هو - ذاته - الحد الأدنى لقدرة المروحة على طرد الهواء فى كل دقيقة. ويجب اختيار المراوح التى يمكنها سحب هذا الحجم من الهواء عند

الضغط الاستاتيكى للصوبة (والذى يتراوح بين ٠,٧ ، و ٠,١ بوصة، يُضاف له الضغط الاستاتيكى لوسائد التبريد إن وجدت) بأقل قدر يلزم من قوة الحصان لتشغيلها.



شكل (٣-١٧) مسار التحركات الهوائية عند التهوية (أ) فى بيت مفرد على شكل هالوى متاظر الانحدار، مع وجود فتحة التهوية فى جانب البيت، والمراوح السحبة للهواء فى الجانب الآخر (ب) فى مجموعة من البيوت المتصلة على شكل القنوات والخطوط بنظام التهوية السابق نفسه (جـ) فى بيت مفرد على شكل هالوى متناظر الانحدار، مع وجود فتحات التهوية فى قمة البيت

ومن الاعتبارات المهمة الأخرى لاختيار قدرة المراوح وتركيبها، ما يلى:

١- إن لم يكن هناك مفر من مقابلة المراوح للرياح السائدة صيفًا، تجب زيادة قدرة المراوح بنحو ١٠٪، مع زيادة مقابلة فى قوة حصان موتور المروحة

٢- يجب تزويد كل المراوح بمغالق أوتوماتيكية للحماية من الظروف الجوية ولمنع حدوث تسرب للهواء الخارجى عندما لا تكون المراوح فى حالة تشغيل.

٣- عندما تكون مراوح بيوت محمية متجاورة قريبة من بعضها البعض وتطلق هواءها الساخن فى نفس المكان بين الصوبات، فإنها يجب أن تُعزل عن بعضها البعض لتجنب طرد الهواء مباشرة من مروحة لأخرى.

٤- يجب أن تحاط المراوح بشبكة سلكية لحماية الأفراد من ملامسة أى من أجزائها المتحركة (Jones ٢٠٠١).

التهوية بنظام الأنبوبة البلاستيكية المعلقّة

كثيرًا ما تستخدم فى التهوية أنابيب من البوليثيلين تثبت عالية بقدر كافٍ حتى لا تتضرر النباتات من الهواء الخارجى البارد، حيث يختلط بهواء الصوبة الدافئ قبل وصوله للنباتات. وتكون الأنبوبة بقطر حوالى ٩٠ سم، وتمتد بطول الصوبة، وتثبت فى مكانها بسلك وأطواق، ويوجد بجانبيها ثقوب بقطر ٧,٥سم كل ٩٠-١٥٠سم. يتصل أحد جانبى الأنبوبة بمروحة التهوية، ويتصل الجانب الآخر بمصاريع (عوارض) مدلاة ومتحركة. يسمح ذلك للهواء الخارجى بالدخول تدريجيًا دون الإضرار بالنباتات، وبسحب الهواء الحار الذى يتجمع بالقرب من سقف الصوبة (Marr ١٩٩٥).

التهوية فى الجو البارد

يفضل اتباع نظام الأنبوبة البلاستيكية للتهوية فى الجو البارد؛ حيث يكون الهواء الخارجى باردًا بدرجة قد تضر بالنباتات القريبة من فتحات التهوية. ولتلافى ذلك يسمح لهذا الهواء بالدخول إلى الأنبوبة البلاستيكية أولاً؛ حيث يتوزع منها بالتدريج فى جميع أرجاء البيت.

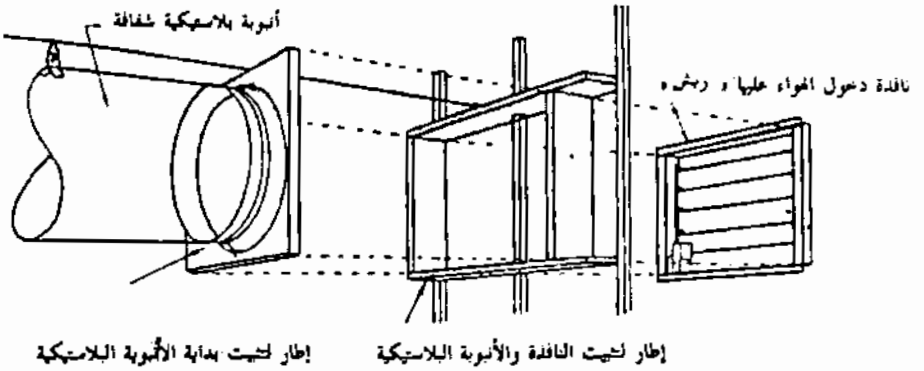
ويوضح شكل (٣-١٨) الكيفية التى يتم بها عمل هذا النظام: تثبت مروحة كبيرة ساحبة للهواء فى جانب من البيت، بينما يوصل أحد طرفى الأنبوبة البلاستيكية بفتحة فى جانب آخر. ويؤدى تشغيل المروحة إلى توليد تفريغ داخل البيت؛ فيندفع الهواء

بالتالى من خارج البيت خلال الفتحة المطلة على الأنبوبة البلاستيكية لتنتفخ الأنبوبة بالهواء الخارجى البارد الذى يخرج من خلال الفتحات الصغيرة ليوزع بالتدريج فى جميع ارجاء البيت

شكل ٣-١٨ لبوبة بلاستيكية تتدلى من سقف البيت بطوله أعلى مستوى النباتات، ويمكن ان تستخدم فى التهوية فى الجو البارد، وفى توزيع الهواء الدافئ، وفى المحافظة على تجانس درجة الحرارة داخل البيت

هذا وتغطى الفتحة الخارجية بـ "ريش" خاصة تثبت فى إطار خشبى فى جدار البيت. وتتصل الأنبوبة البلاستيكية بهذا الإطار من الناحية الداخلية للجدار (شكل ٣-١٩) ويتم فتح هذه "الريش" بمجرد اندفاع الهواء من خلالها إلى داخل الأنبوبة البلاستيكية وقد يتحكم قفل خاص فى فتحها وإغلاقها، ويتم تشغيله بواسطة منظم الحرارة، حيث يفتح مع تشغيل المروحة فى آن واحد وليس لموقع المروحة الساحبة للهواء أهمية كبيرة، نظرًا لأن كل وظيفتها هى توليد تفريغ داخلى طفيف يسمح باندفاع الهواء إلى داخل الأنبوبة البلاستيكية

ويجب أن تُعْطى أهمية خاصة لقدرة المروحة على سحب الهواء من البيت؛ نظرًا لتأثير ذلك على كفاءة عملية التهوية وتختلف التقديرات فى هذا الأمر من ٠,٤٦-١,٢٢ مترًا مكعبا من الهواء المسحوب من البيت فى الدقيقة لكل متر مربع من مساحة البيت بمتوسط قدره ٠,٨٤ م^{٣} فى الدقيقة.



شكل (٣-١٩): تخطيط يوضح مكان اتصال الأنبوبة البلاستيكية بفتحة التهوية التى توجد فى جدار البيت.

تعمل التهوية بهذا المعدل — تحت الظروف القياسية — على عدم ارتفاع درجة الحرارة داخل البيت لأكثر من ٨°م عن الجو الخارجى. فإذا أُريد المحافظة على فرق أقل فى درجة الحرارة بين الهواء الداخلى والخارجى، وجبت زيادة معدل دخول الهواء البارد. ويستخدم لأجل ذلك معامل التصحيح (F_{winter}) المبين فى جدول (٣-١٤)، والذى يطلق عليه اسم معامل التهوية للفرق المسموح به فى درجة الحرارة.

جدول (٣-١٤): معامل تصحيح التهوية للفرق المسموح به فى درجة الحرارة بين داخل وخارج البيت (F_{winter}).

الفرق المسموح به فى درجة الحرارة بين داخل وخارج البيت (°م)	١٠	٩,٤	٨,٩	٨,٣	٧,٨	٧,٢	٦,٧	٦,١	٥,٦	٥,٠
F_{winter}	٠,٨٣	٠,٨٨	٠,٩٤	١,٠٠	١,٠٧	١,١٥	١,٢٥	١,٣٧	١,٥٠	١,٦٧

هذا .. والظروف القياسية المشار إليها هى ألا يزيد منسوب البيت على ٣٠٥م على سطح البحر، وألا تزيد شدة الإضاءة داخل البيت على ٥٠٠ قدم — شمعة (٥٣,٨ klux) فإذا اختلفت الظروف الحقيقية عن القياسية، لزم تصحيح معدل سحب الهواء باستعمال معاملات التصحيح التى سبقت الإشارة إليها فى جدولى (٣-٩، و ٣-١١). كذلك يجب الاهتمام

بحساب عدد الأنابيب البلاستيكية اللازمة للتهوية، ومساحة الثقوب بها، لأن كل أنبوبة بقطر ٧٥ سم تكفى لتهوية نحو ٩ أمتار من عرض البيت (أى ٤.٥م على كل جانب من جانبيها)

وتكون الثقوب عادة صغيرة، لكن مساحتها الإجمالية يجب أن تكون فى حدود ١.٥-٢ ضعف مساحة مقطع الأنبوبة. ونظرًا لأن الأنبوبة تمتد بطول البيت، لذلك تجب فى حالة البيوت الطويلة زيادة المسافة بين الثقوب. حتى تظل مساحتها الإجمالية فى الحدود المشار إليها. وغالبًا ما تكون المسافة بين الثقوب ٦٠-٩٠ سم

التهوية بنظام الأنبوبة البلاستيكية، مع المحافظة على تجانس درجة الحرارة داخل البيت

يمكن استخدام نظام الأنابيب البلاستيكية فى المحافظة على تجانس درجة الحرارة داخل البيت مع إجراء التهوية فى الجو البارد. ولتحقيق ذلك تثبت المروحة الساحبة للهواء والأنبوبة البلاستيكية كالعادة، لكن دون إيصال طرفها المفتوح بجدار البيت، بل يظل على بعد ٦٠-١٢٠ سم من الفتحة الموجودة بالجدار. وتثبت على الطرف المفتوح للأنبوبة مروحة دافعة للهواء تعمل باستمرار، فتظل الأنبوبة دائمًا مملوءة بالهواء

ففى حالة التهوية يؤدى تشغيل المروحة الساحبة للهواء إلى إحداث تفريغ جزئى فى البيت. فيندفع الهواء من خلال الفتحة التى توجد فى جدار البيت (والتى تكون مغطاة بـ ريش خاصة تفتح عند اندفاع الهواء من خلالها)، لتتلقفه المروحة القريبة المثبتة فى طرف الأنبوبة البلاستيكية، وتدفعه داخل الأنبوبة ليتوزع فى جميع أرجاء البيت. ويجب أن تكون قدرة المروحة الدافعة للهواء إلى داخل الأنبوبة مساوية لقدرة المروحة الساحبة للهواء من البيت، وإلا تدفق جزء من الهواء الخارجى البارد الداخل إلى البيت إلى أسفل نحو النباتات، بدلاً من سحبه إلى داخل الأنبوبة البلاستيكية

أما عندما لا تعمل المروحة الساحبة للهواء من داخل البيت (أى عندما لا تكون هناك حاجة إلى التهوية)، فإن المروحة التى تدفع الهواء إلى داخل الأنبوبة

البلاستيكية (والتى تعمل باستمرار) تؤدى إلى تحريك هواء البيت باستمرار، محققة المرايا الآتية.

١- تجانس درجة الحرارة داخل البيت بتحريك الهواء الدافئ الذى يتجمع أعلى البيت، ومنع تكتل الهواء البارد حول النباتات.

٢- تحريك غاز ثانى أكسيد الكربون الذى يقل تركيزه حول النباتات.

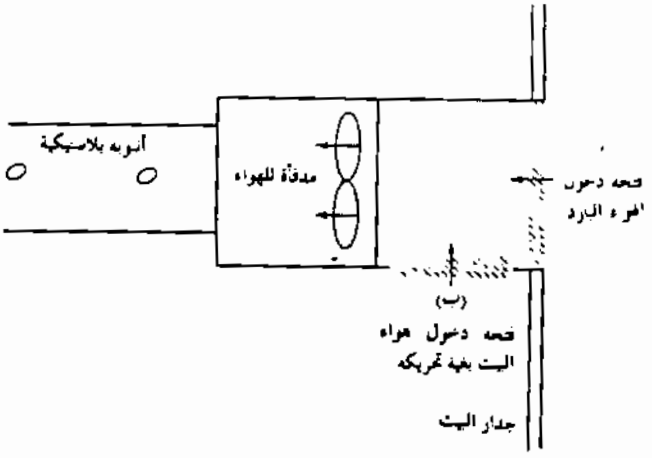
٣- تقيل فرصة الإصابة بالأمراض بتقليل الرطوبة النسبية حول الأوراق (Sheldrake ١٩٦٧).

التهوية والتدفئة بنظام الأنبوبة البلاستيكية، مع المحافظة على تجانس درجة الحرارة داخل البيت

يحدث أحيانًا فى فصل الشتاء أن تحتاج البيوت إلى التهوية نهارًا والتدفئة ليلاً. ويمكن تحقيق ذلك بنظام واحد تستخدم فيه أنبوبة بلاستيكية مثقبة، كما فى حالة التهوية. ينتهى طرف الأنبوبة قبل جدار البيت بنحو ٦٠ سم؛ حيث تحاط هذه المسافة بما يشبه الصندوق، كما فى شكل (٣-٢٠). ويوضع جهاز التدفئة مقابل الفتحة (ب) بالشكل، أما الفتحة (أ)، فهى فى جدار البيت لدخول الهواء البارد عند الحاجة إلى التهوية. وكلتا الفتحتين مغطاة بـ "ريس" خاصة، ويمكن إحكام غلقها. وتثبت فى بداية الأنبوبة مروحة دافعة للهواء داخل الأنبوبة.

عندما ترتفع درجة الحرارة داخل البيت إلى الحد الأقصى المسموح به تفتح الفتحة (أ) وتغلق الفتحة (ب)، وتعمل المروحة الساحبة للهواء التى توجد فى مكان آخر بالبيت؛ فيندفع الهواء البارد الخارجى من الفتحة (أ)، ومنه إلى الأنبوبة البلاستيكية من خلال المروحة التى تعمل باستمرار.

وعندما تنخفض درجة الحرارة داخل البيت إلى المجال المناسب تقفل الفتحة (أ)، وتفتح الفتحة (ب)، وتتوقف المروحة الساحبة للهواء من البيت عن العمل، لكن يستمر تشغيل المروحة التى تدفع الهواء إلى داخل الأنبوبة؛ حيث تمتلئ بهواء البيت، ؛ فتعمل بذلك على تجانس درجة الحرارة داخل البيت.



شكل (٣-٢٠) تخطيط يوضح كيفية استخدام نظام الأنبوبة البلاستيكية فى التهوية، والتدفئة، والمحافظة على تجانس درجة الحرارة داخل البيت

ومع استمرار انخفاض درجة الحرارة ليلاً يبدأ جهاز التدفئة فى العمل مع استمرار الوضع على ما هو عليه (الفتحة "أ" مغلقة، والفتحة "ب" مفتوحة، والمروحة الساحبة للهواء من البيت لا تعمل، والمروحة الدافعة للهواء داخل الأنبوبة تعمل)؛ فيندفع الهواء الساخن الى داخل الأنبوبة ليتم توزيعه فى أرجاء البيت ويوضح شكل (٣-٢١) تجسيمًا لهذا النظام مع استعمال مدفأتين

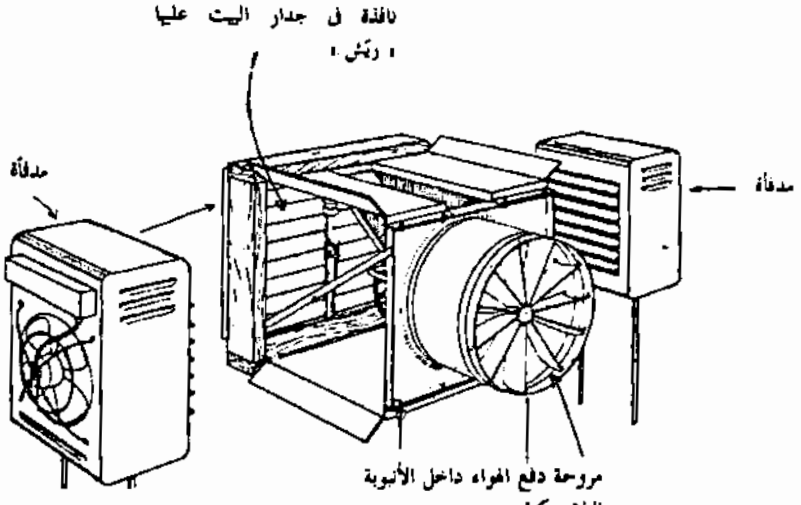
صيانة نظم التهوية

إن صيانة نظم التهوية تتطلب مراعاة ما يلى:

١- التأكد من نظافة ريش المراوح وملحقات المراوح مثل أقفاصها ومغاليق الهواء، ذلك أن تراكم ولو جرامات من الأتربة على الريش يمكن أن يحدث عدم توازن بالمروحة تكفى لخفض كفاءتها بنحو ٣٠٪

٢- ومع نظافة أجزاء المروحة يلزم تشحيم كل أجزاءها المتحركة، وكذلك تشحيم مغاليق الهواء

٣ التخلص من أى شئ أو نموات نباتية قد تتواجد بالقرب من المروحة حتى لا تعوق حركة الهواء (Buffington وآخرون ٢٠٠٢).



شكل (٣-٢١) رسم مجسم بنظام الأنبوبة البلاستيكية فى التهوية عند استخدامه أيضًا فى التدفئة، وفى المحافظة على تجانس درجة الحرارة داخل البيت (عن Hannan وآخرين ١٩٧٨).

استعمال مراوح التوزيع المحركة للهواء فى البيوت المحمية غير المهواة

تفيد مراوح التحريك الأفقى للهواء فى تحريك الهواء داخل البيت المحمى، بما يعنى تجانس حرارة الهواء، وعدم تراكم الرطوبة حول النباتات؛ مما يفيد فى زيادة تجانس النمو وتقليل مخاطر الإصابة بالأمراض

ويتم تحريك الهواء بإحدى طريقتين، كما يلى:

١- طريقة المروحة والأنبوبة:

يتم بموجب هذه الطريقة دفع الهواء بواسطة مروحة داخل أنبوب بلاستيكى مثقب، ليتوزع فى مختلف أرجاء الصوبة. يمتد هذا الأنبوب بطول الصوبة ويتدلى من هيكلها العلوى. يمكن أن يُستعمل هذا الأنبوب — كذلك — فى توزيع هواء التهوية عند الرغبة فى إجراء تعديل بسيط فى حرارة هواء الصوبة. وفى توزيع هواء التدفئة عند الرغبة فى إجراء التدفئة. ويتعين تغيير هذه الأنابيب سنويًا لأنها تتسخ وتتسبب فى تظليل النباتات.

٢- طريقة توزيع الهواء بمراوح منخفضة السرعة كبيرة الحجم، وهى طريقة يتم بموجبها تحريك الهواء بمجرد تشغيل المراوح ولزيادة كفاءة النظام يمكن تثبت المراوح متبادلة فى الممرات لتأمين تحرك الهواء داخل الصوبة بأكملها (Jones ٢٠٠١)

وقد درس Fernandez & Bailey (١٩٩٤) تأثير مراوح التوزيع المحركة للهواء داخل الصوبة Air Recirculation Fans على تجانس الظروف البيئية فيها، ومدى تأثر ذلك بطول نباتات الطماطم النامية بها، ووجدا ما يلى

١- قل التجانس الذى أحدثته مراوح توزيع الهواء كلما ازدادت شدة الإضاءة خارج الصوبة

٢ كان متوسط قياسات العوامل البيئية فى الأيام المشمسة -- خلال فترة الدراسة — كما يلى الإشعاع الشمسى خارج البيت ٤٤٥ وات/م٢، ودرجة الحرارة داخل الصوبة ٣٠ م. وضغط بخار الماء داخل الصوبة ٣ ٧٨ كيلو باسكال، وتركيز غاز ثانى أكسيد الكربون ٦٣٠ جزءا من المليون

٣- تحت هذه الظروف. كانت الاختلافات فى العوامل البيئية المقيسة داخل الصوبة — فى حالة عدم تشغيل مراوح التوزيع — كما يلى: ٧م فى حرارة الصوبة، وكيلو باسكال واحد فى ضغط بخار الماء. و ١٥٠ جزءا فى المليون فى تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون

٤- وعند تشغيل مراوح التوزيع كانت الاختلافات فى العوامل البيئية داخل الصوبة كما يلى ١ ٦ م فى حرارة الصوبة. و ٠ ٣ كيلو باسكال فى ضغط بخار الماء. و ٢٠ جزءًا فى المليون فى تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون

٥- أدى نمو النباتات إلى ضعف تجانس سرعة حركة الهواء فى مختلف أنحاء الصوبة. حيث كانت النسبة بين أعلى وأقل سرعة هواء ٢ ١ فى الصوبة الخالية، مقارنة بـ ٧ ١ عندما بلغ طول النباتات ٢,٦م. وكانت أقل سرعة للهواء — عند وجود نباتات طويلة فى الصوبة — خلال الأجزاء السفلى من النموات الخضرية

٦- حدثت أضرار بسيطة بأوراق وثمار النباتات المواجهة لمراوح التوزيع مباشرة

مقارنة بين كفاءة الطرق المختلفة للتظليل والتهوية والتبريد

اختبرت طريقتان للتهوية الطبيعية فى الصوب القياسية (٥٤٠ م٢)، مقارنة بالتهوية العادية فى تلك الصوبات، وهى توفير مساحة من التداخل بين كل شريحتين من شرائح البلاستيك عرض خمسة أمتار. والطريقتان كانتا: (أ) تعديل الطريقة العادية لتصبح تهوية جانبية بعرض متر واحد على كل من جانبى الصوبة بفتحة ١٢٠م٢/٥١٠م٢ مساحة زراعة، و (ب) تهوية علوية من أعلى الصوبة بعرض ٠,٨م على طول الصوبة بفتحة ٤٨م٢/٥١٠م٢ مساحة زراعة. وقد تبين أن التهوية الجانبية أدت إلى خفض الحرارة ٢-٣°م شتاءً، وحوالى ٤-٥°م صيفًا، وذلك مقارنة بالكنترول، كما أدت إلى تحسين دلائل النمو والمحصول الكلى للخيار. وتلاها فى التأثير الإيجابى التهوية العلوية. ثم الكنترول (Wadid وآخرون ٢٠٠٠).

كما أظهرت دراسة قورنت فيها التهوية بمعدلين (٠,٠٤١م٣ لكل م٢ فى الثانية، و ٠,٠٨٧م٣ لكل م٢ فى الثانية). مع التبريد بالمروحة والوسادة من عدمه، والتظليل بثلاثة مستويات (٥٠٪ تظليل بقماش أسود، و ٤٠٪ تظليل بقماش أبيض، و ٥٠٪ تظليل بقماش أسود معرض للمست)، والمراوح المحركة للهواء من عدمه على كل من حرارة الأوراق والهواء الداخلى للصوبات المزروعة بالطماطم، ووجد ما يلى:

١- كان التظليل أكثر المعاملات كفاءة فى خفض حرارة الأوراق، بينما كان التبريد بنظام المروحة والوسادة أكفأ وسيلة لخفض حرارة هواء الصوبة.

٢- تماثلت كفاءة الـ ٤٠٪ تظليل بقماش أبيض مع الـ ٥٠٪ تظليل بقماش أسود جاف فى خفض حرارة الأوراق، إلا أن الـ ٥٠٪ تظليل بقماش أسود معرض للمست كان أكثر كفاءة من كليهما.

٣ - مع المعدل المنخفض للتهوية كان الـ ٤٠٪ تظليل بقماش أبيض والـ ٥٠٪ تظليل بقماش أسود معرض للمست متساويين فى خفضهما لحرارة الهواء. وكان كلاهما أفضل فى هذا الشأن من الـ ٥٠٪ تظليل بقماش أسود جاف.

٤- مع المعدل المرتفع للتهوية خفضت معاملات التظليل الثلاث حرارة الهواء بدرجة متساوية تقريبًا.

٥- لم يكن معدل التهوية العالى فعالاً إلاّ عندما اقترن مع التبريد بنظام المروحة والوسادة

٦ أحدث الجمع بين التظليل، والتبريد بنظام المروحة والوسادة، والمعدل العالى للتهوية أكبر انخفاض فى كل من حرارة الأوراق والهواء

٧- كان لمراوح تحريك الهواء تأثير قليل فى خفض حرارة الأوراق، بينما لم يكن لها أى تأثير على حرارة الهواء (Willits ٢٠٠٠).

وتبين لدى مقارنة التهوية الطبيعية (فتحات سقفية أو جانبية أو كلاهما) مع التبريد بنظام المروحة والوسادة (باستعمال مروحة قادرة على سحب ٠,٦م^{٣} من الهواء لكل م^{٢} فى الثانية) أن حرارة الهواء صيفًا فيما بين العاشرة صباحًا والثانية بعد الظهر كانت أعلى فى حالة التهوية (٣١.٨°م) مقارنة بالحرارة فى حالة التبريد (٢٦.٨°م) (Teitel وآخرون ٢٠٠٧)

وعندما جريت مقارنة بين ثلاث وسائل لتبريد الصوبات البلاستيكية (التضبيب Fogging، والتهوية الطبيعية، والتهوية الإجبارية، والطلاء الأبيض للبلاستيك)، كان التضبيب أكثر الطرق كفاءة فى خفض الحرارة القصوى، ولكنه كان أقلها كفاءة فى خفض حرارة النموات الخضرية كما لم يتحسن المحصول بأى من طريقتى التضبيب أو التهوية الإجبارية، مقارنة باستعمال الطلاء الأبيض. وقد صاحب التضبيب حدوث أعلى نسبة من الإصابة بتعفن الطرف الزهرى. وكانت أكفأ وسيلة للتبريد هى الجمع بين الطلاء الأبيض والتهوية الطبيعية، وهى الوسيلة التى لم تتطلب — كذلك — أى استهلاك للماء أو الطاقة (Gázquez وآخرون ٢٠٠٧).

كذلك قورن تأثير كل من التبريد عن طريق التظليل بالستائر الألومنيومية المتحركة والتبريد بالمست على نمو ومحصول الفلفل، حيث تم تنشيطهما عندما وصلت الحرارة داخل الصوبة إلى ٢٨°م. وكان المست لمدة ١٥ ثانية كل ١٥ دقيقة. أدى نظام التظليل إلى خفض الإشعاع الشمسى فى البناء الضوئى PAR (بالميكرومول فى الثانية لكل متر مربع) بأكثر من ٥٠٪ مقارنة بشدة الإشعاع خارج الصوبة وسط النهار، وحتى ٦٦٪ فى الصباح وآخر النهار، هذا بينما

أدى التبريد بالمست إلى زيادة الإشعاع النشط فى البناء الضوئى بمقدار الثلث مقارنة بالوضع عند تشغيل نظام التظليل، وذلك فى منتصف النهار. وقد أدت طريقتا التبريد (بالتظليل والمست) إلى خفض الحرارة حول النموات النباتية، مقارنة بالحرارة فى حالة عدم تشغيل أى من طريقتى التبريد. وكانت النباتات أكثر طولاً وسيقانها أقل سمكًا فى حالة التبريد بالتظليل. مقارنة بالوضع فى حالة التبريد بالمست. وقد ازداد المحصول عند التبريد (بأى من الطريقتين) بمقدار ٢٥٠٪ مقارنة بالمحصول فى حالة عدم التبريد. ولما كانت تكلفة إقامة نظام التبريد بالمست تبلغ نحو ١٠٪ من تكلفة إقامة نظام التبريد عن طريق التظليل بالستائر الألومنيومية المتحركة، فإن النظام الأول يكون هو المفضل. هذا علمًا بأن استعمال أى من النظامين لم يكن مصاحبًا – فى صوبات الفلفل – بأية أمراض أو نموات غير طبيعية (Cantliffe وآخرون ٢٠٠٧).

الرطوبة النسبية

تزداد قدرة الهواء على حمل الرطوبة كلما ارتفعت درجة حرارته (شكل ٣-١٣)؛ وبذا .. فإن أى ارتفاع، أو انخفاض فى درجة حرارة هواء الصوبة (دون أى تغير فى كمية بخار الماء المطلقة التى يحملها الهواء) تؤدى – تلقائيًا، وعلى التوالى – إلى انخفاض أو ارتفاع فى رطوبته النسبية. يتوقف مداه على مقدار الارتفاع أو الانخفاض فى درجة الحرارة

ويترتب على ذلك ارتفاع الرطوبة النسبية فى هواء الصوبة فى الحالات التالية:

١- عند انخفاض درجة الحرارة ليلاً.

٢- عند انخفاض درجة الحرارة نهارًا بفعل التبريد..

٣- عند زيادة محتوى الهواء من بخار الماء بفعل التبريد بنظام المروحة والوسادة، أو بالتبريد بالرذاذ mist تحت ضغط عال.

٤- عند وجود قصور فى عملية التهوية؛ حيث يتراكم بخار الماء الناتج من التبخر من التربة. والنتح من النباتات.

كما تنخفض الرطوبة النسبية فى هواء الصوبة فى الحالات التالية:

١- عند العناية بإجراء التهوية بصورة مناسبة

٢- عند إجراء التدفئة الصناعية شتاءً، وخاصة عند ممارسة التدفئة – مع التهوية – على فترات، للتخلص من الرطوبة التى تتراكم أولا بأول.

وبذا . فإنه يمكن التحكم فى الرطوبة النسبية – سواء بالارتفاع، أم بالانخفاض – بملاحظة الأمور التى أسلفنا بيانها كما يمكن إجراء هذا التحكم آليًا بوضع مقياس للرطوبة Humidistat فى الصوبة، وتوصيله بأى من جهاز "المست Mist"، أو مروحة التبريد الصحراوى، أو مروحة التهوية، أو منافذ التهوية، بحيث تبقى الرطوبة النسبية فى المدى المناسب لأطول فترة ممكنة

ومن أبرز أضرار الرطوبة النسبية الشديدة الانخفاض (الأقل من ٢٥٪) ضعف عقد الثمار، بسبب جفاف المياسم وحبوب اللقاح فى هذه الظروف

أما الرطوبة النسبية الشديدة الارتفاع (الأعلى من ٩٠٪) فإن مضارها كثيرة، كما يلى:

١- يؤدى أى انخفاض فى درجة الحرارة (كما يحدث ليلاً) إلى تكثف الندى على النموات النباتية، الأمر الذى يعمل على ظهور الإصابات المرضية الفطرية والبكتيرية وسرعة انتشارها

٢ - يتكثف الندى كذلك على الغطاء البلاستيكى. ثم يتجمع على شكل قطرات تتساقط على النباتات. لتحدث بها أضرارا ومن ناحية أخرى .. فإن تكثف الندى على الغطاء البلاستيكى يفيد فى منع نفاذ الأشعة تحت الحمراء التى تنطلق من التربة والنباتات أثناء الليل، الأمر الذى يرفع قليلاً من درجة حرارة الصوبة فى الليالى الباردة.

٣- تؤدى الرطوبة النسبية العالية – ذاتها – إلى انتشار عديد من الأمراض الفطرية، مثل البياض الزغبى، والعفن الرمادى Crey mould.

٤- تزداد – بشدة – الأضرار التى تحدثها ملوثات الهواء – التى تنتج عن الاحتراق

غير الكامل للوقود المستخدم فى تدفئة البيوت المحمية، أو لأجل تزويدها بغاز ثانى أكسيد الكربون — عندما يكون ذلك مصاحبًا بارتفاع فى الرطوبة النسبية لهواء البيت، وخاصة عندما تكون النباتات قد تعرضت لرطوبة عالية قبل تعرضها للملوثات الهواء. ويتوقف مدى الضرر على نوع الملوثات (لأن بعضها — مثل SO_2 — يؤثر على وظائف الثغور)، والوقت الذى تتعرض فيه النباتات لها (لأن الأضرار المحتملة للملوثات الهواء تزداد نهارًا أثناء انفتاح الثغور).

ولكن الرطوبة النسبية العالية تكون مطلوبة عند مكافحة ذبابة البيوت المحمية البيضاء *Trialeurodes vaporariorium* بالفطر *Verticilium lecanii*؛ إذ تحتاج جراثيم الفطر إلى رطوبة عالية لمدة ١٠ ساعات لكى تنبت، على أن تتوفر رطوبة عالية مرة أخرى — بعد ذلك — عندما يبدأ الفطر فى التجرثم من جديد (عن Grange & Hand ١٩٨٧).

هذا .. وتتباين نتائج الدراسات حول تأثير الرطوبة النسبية على النمو النباتى. فبينما تُظهر معظم دراسات حجرات النمو تحسنًا فى نمو الشتلات مع الارتفاع المستمر فى الرطوبة النسبية ليلاً ونهارًا، نجد تباينًا واضحًا فى تأثير الرطوبة النسبية على المحصول تحت ظروف البيوت المحمية. ففى المدى الرطوبى الذى تتعرض له النباتات — عادة — فى البيوت المحمية (٠,٢–١,٠ كيلو باسكال kPa) — وفى غياب الإصابات المرضية — أدت زيادة الرطوبة النسبية إلى زيادة المحصول فى الخيار، ونقصه فى الطماطم، بينما لم يتأثر محصول الفلفل.

ويتبين من دراسات Bakker (١٩٩٠) أن نمو نباتات الباذنجان لم يتأثر بمستوى الرطوبة الجوية. بينما نقص المحصول عند استمرار ارتفاع الرطوبة، وازداد ذبول وإنكماش كأس الثمرة (وهو أحد العيوب الفسيولوجية الهامة التى تؤثر سلبيًا على مظهر الثمار وقيمتها التسويقية، وتشجع على إصابتها بالأعفان أثناء التخزين) عند استمرار انخفاض الرطوبة النسبية. هذا .. بينما أدت زيادة الرطوبة النسبية نهارًا إلى زيادة حجم الثمار

ومن المعروف أن للرطوبه النسبية تأثيرًا كبيرًا على امتصاص الكالسيوم وتوزيعه فى النبات، ذلك لأن الكالسيوم يتحرك فى النبات مع تيار الماء الذى يفقد بالنتح، وبذا .. نجد أن نقص الرطوبة النسبية يؤدى إلى زيادة معدل النتح، وبالتالى زيادة امتصاص الكالسيوم كما يتجمع الكالسيوم فى الأوراق والسيقان (التى تكون الكأس فى الثمار)، لأنها تنتح. بينما لا يصل سوى القليل من العنصر إلى الثمار، لأنها لا تنتح إلا قليلاً، وبذا يمكن أن تظهر عيوب فسيولوجية – تنتج عن نقص الكالسيوم – مثل تعفن الطرف الزهرى فى الطماطم والفلفل، والثمار الإسفنجية Pillowy Fruit فى الخيار.

وبينما تؤدى زيادة الرطوبة النسبية إلى نقص امتصاص عنصر الكالسيوم – بسبب خفضها لمعدل النتح – فإن ذلك يساعد على انتقال الكالسيوم إلى الثمار، وخاصة أثناء الليل

التحكم فى الإضاءة

يمكن التحكم فى الإضاءة فى البيوت المحمية من خلال التحكم فى كل من شدة الاضاءة والفترة الضوئية، سواء بالزيادة أم النقصان

التحكم فى شدة الإضاءة

خفض شدة الإضاءة

يتطلب الأمر خفض شدة الإضاءة فى حالات خاصة، هى:

١- خلال فصل الصيف فى الجو الصحو بالمناطق الحارة، حيث تزداد شدة الإضاءة بدرجة كبيرة. ويتحول جانب كبير من الإشعاع الشمسى إلى طاقة حرارية، فترتفع بذلك درجة الحرارة كثيرا داخل البيوت

٢- عند إنتاج بعض نباتات الزينة (نباتات الظل).

ويتم التحكم فى شدة الإضاءة بصورة جيدة باستعمال شباك التظليل البلاستيكية المناسبة التى تُحدث تظليلا بدرجات تتراوح بين ١٠٪ و ٩٠٪ حسب الحاجة. كما يمكن

خفض شدة الإضاءة برش غطاء البيت من الخارج بالجير، إلا أن ذلك يترك رواسب يصعب التخلص منها عند حلول فصل الشتاء.

زيادة شدة الإضاءة

نجد فى المناطق الشمالية الباردة أن أشعة الشمس تسقط على سطح الأرض خلال فصل الشتاء بزاوية صغيرة كما تكون السماء ملبدة بالغيوم معظم ساعات النهار. ويتبع ذلك أن تكون الإضاءة ضعيفة فى هذه المناطق؛ مما يستلزم توفير بعض الإضاءة الصناعية فى البيوت المحمية. ومما يساعد على جعل هذه الإضاءة الإضافية أمرًا اقتصاديًا فى هذه المناطق أن البيوت المحمية تظل مغلقة خلال فصل الشتاء بسبب برودة الجو؛ مما يستدعى تغذية البيوت بغاز ثانى أكسيد الكربون. وقد أوضحت عديد من الدراسات أن استفادة النباتات من غاز ثانى أكسيد الكربون المضاف تزداد مع زيادة شدة الإضاءة.

مصادر الإضاءة الصناعية فى البيوت المحمية

من أهم مصادر الإضاءة الصناعية التى يمكن أن تستعمل فى الزراعات المحمية ما يلى:

١- المصابيح المتوهجة Incadescent Lamps. أو (لمبات) التنجستين:

وهى مصابيح (لمبات) يتوهج فيها فتيل من التنجستين Tungsten Filament. تبعث اللمبة بالضوء من الفتيل الذى يسخن بدرجة كبيرة، مرسلاً أشعة تبدأ من الطيف الأزرق (٣٥٠ ملى ميكرون)، وتستمر حتى طيف الأشعة الحمراء (٧٥٠ ملى ميكرون)، ويكون ضوء لمبات التنجستين غنيًا فى محتواه من الأشعة تحت الحمراء التى تفقد فى صورة حرارة. ولا يتحول إلى ضوء سوى ٧٪ فقط من إجمالى الإشعاع الصادر منها. ولهذا .. فلمبات التنجستين تعد قليلة الكفاءة فى زيادة الإضاءة اللازمة لعملية البناء الضوئى، إلا أنها تفيد فى زيادة تدفئة النباتات، وفى التحكم فى إزهار النباتات التى تتأثر بالفترة الضوئية فى إزهارها.

وبصورة عامه فإن لمبات التنجستين لا تستعمل فى الإضاءة فى البيوت المحمية، بسبب إنتاجها لقدر زائد من الطاقة الحرارية وعلى الرغم من أن نوعية الضوء الذى ينبعث منها يناسب بعض النباتات .. إلا أنها لا تصلح كمصدر للضوء الصناعى عند استعمالها بشدة إضاءة منخفضة بالقدر الذى يلزم لتجنب الحرارة الزائدة، والتى تكون ضارة فى أحيان كثيرة.

٢- المصابيح الفلورية (النيون) Fluoresent Lamps

تبعث لمبات الفلورسنت بضوء منخفض فى الأشعة الحمراء، لا يحتوى على أية أشعة تحت حمراء، ولذا نجد أن اللمبات تكون باردة. ويحتوى ضوء لمبات الفلورسنت على بقية ألوان الطيف بصورة قريبة من تلك الموجودة فى أشعة الشمس (جانيك ١٩٨٥).

وتعتبر لمبات الفلورسنت أكثر استعمالاً فى حجرات النمو منها فى البيوت المحمية.

ومن انواع اللمبات الفلورسنتية ذات الكفاءة العالية نوع يعرف باسم الأبيض البارد Cool white. ونوع آخر يعرف باسم الأبيض الدافئ Warm white، وكلاهما يحول نحو ٢٠٪ من الطاقة الكهربائية المستهلكة إلى طاقة ضوئية (مقارنة بنحو ٥٪-٧٪ فقط فى لمبات التنجستين)، وأكثرهما استعمالاً النوع الأبيض البارد. وفى كليهما يميل الطيف إلى السيادة فى منطقة الضوء الأزرق.

وتتوفر أنواع أخرى من اللمبات الفلورسنتية تحتوى على فوسفور يشع طيفًا ذا موجات ضوئية أكثر مناسبة لعملية البناء الضوئى؛ مثل لمبات مجموعة Plant Gowth A التى يزيد إشعاعها فى مدى الضوء الأحمر. ولمبات مجموعة Plant Growth B التى يكثر إشعاعها فى مدى الموجات التى يزيد طولها على ٧٠٠ ملى ميكرون.

ومن أهم العوامل التى تحد من استعمال اللمبات الفلورسنتية انخفاض شدة الإضاءة المنبعثة منها، الأمر الذى يستدعى زيادة عدد اللمبات التى يتعين استخدامها لتأمين الإضاءة المناسبة. وهو ما يعنى زيادة التكاليف، مع زيادة التظليل الناشئ عن الـ fixtures المستخدمة فى تثبيت اللمبات فى مكانها.

ويعمل الجمع بين لمبات التنجستين ولمبات الفلورسنت على تحقيق نوع من التكامل والتوازن بينهما. حيث تكون الأشعة الناتجة منهما أقرب من طيف أشعة الشمس أكثر من أي منهما منفردة. ويقل انطلاق الطاقة الحرارية، وتزداد كفاءة استهلاك الطاقة الكهربائية مقارنة باستعمال لمبات التنجستين منفردة.

٣- مصابيح التفريغ ذات الشدة العالية High Intensity Discharge Lamps:

أنواعها كثيرة جدًا، ويستعمل بعضها فى الزراعات المحمية. ومن أمثلتها لمبات التفريغ الزئبقية ذات الضغط العالى High-Pressure Mercury Discharge Lamps. يتشابه الطيف المنبعث منها – جزئيًا – مع طيف اللمبات الفلورسنتية. وتحتوى بعض أنواعها (مثل الطراز: MBFR/U) على مسحوق فلورسنتى يغطى السطح الداخلى لزجاج المصباح؛ يحول معظم الأشعة فوق البنفسجية إلى موجات من الضوء المرئى، وخاصة من الطيف الأحمر. الأمر الذى يجعل الضوء الصادر من المصباح أكثر صلاحية للنمو النباتى. ويزيد كفاءتها – فى تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية مرئية – إلى ١٣

تتوفر كذلك – منها – مصابيح الهاليدات المعدنية ذات الضغط العالى High-Pressure Metal Halide، وهى تحول ٢٠٪ من الطاقة الكهربائية المستهلكة إلى طاقة ضوئية فى المدى المفيد للنبات (من ٤٠٠ إلى ٧٠٠ مللى ميكرون). ويعيبها أنها أكثر تكلفة من مصابيح الزئبق ذات الضغط العالى High-Pressure Mercury Lamps، وتدوم لفترة أقل منها، كما تفقد كفاءتها بسرعة.

وتعتبر مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالى High-Pressure Sodium Lamps أكثر انتشارًا وأقل تكلفة – ويسود فى الطيف الناتج منها الموجات الطويلة، وخاصة موجات الضوء الأصفر (٥٨٩ مللى ميكرون)، كما ينتشر طيفها ليشمل الضوء المرئى (من ٤٠٠ إلى ٧٠٠ مللى ميكرون). ويستمر حتى ٨٥٠ مللى ميكرون. ويعد الإشعاع فى هذا المجال (من ٧٠٠-٨٥٠ مللى ميكرون) ضروريًا لزيادة طول الساق والوزن الطازج، وتبكير الأزهار فى معظم الأنواع النباتية. وتتميز هذه المصابيح بأنها عالية الكفاءة، حيث تحول ٢٥٪

من الطاقة الكهربائية المستهلكة إلى ضوء مرئى (من ٤٠٠–٨٠٠ مللى ميكرون)، وبأنها يمكن أن تستعمل – بكفاءة – لمدة ٢٤ ألف ساعة.

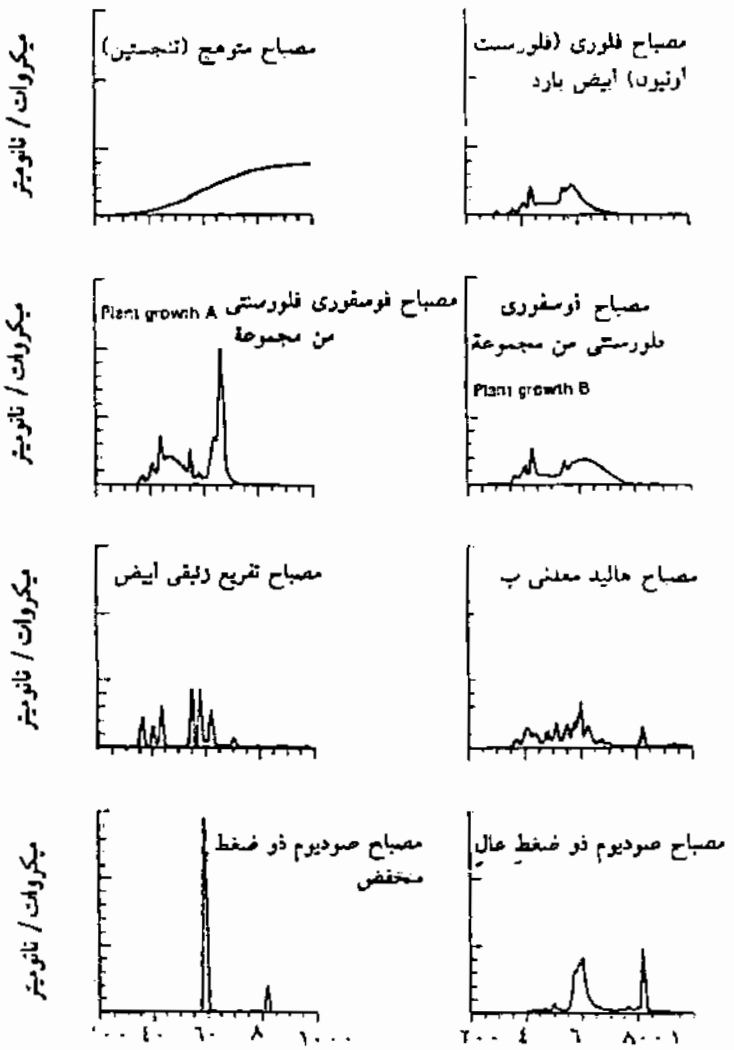
كذلك تتوفر مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض Low-Pressure Sodium Lamps. وهى أكثر المصابيح كفاءة على الإطلاق؛ حيث إنها تحول ٢٧٪ من الطاقة الكهربائية المستعملة إلى طاقة ضوئية مرئية، وتخدم لمدة ١٨ ألف ساعة. ومن مميزاتها – كذلك – إمكان وضعها أقرب إلى النباتات – مقارنة بلمبات الضغط العالى – دون الخشيه من ارتفاع حرارة النباتات؛ الأمر الذى يفيد فى زيادة كفاءة استهلاك الكهرباء، وزيادة تجانس الإضاءة

ولكن يعيب مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض أن معظم طيفها يكون قريبًا من ٥٨٩ مللى ميكرون، مع نسبة قليلة جدًا فى المجال الموجى ٧٠٠–٨٥٠ مللى ميكرون؛ الأمر الذى يؤدى – حال استعمالها منفردة – إلى جعل بعض النباتات – مثل الخس – أبهت لونا، وأصغر حجمًا ويمكن تجنب هذه المشكلة بجعل نحو ١٠٪ من الإضاءة المتوفرة للنباتات من مصابيح متوهجة (لمبات تنجستين)، أو من الإضاءة الطبيعية.

ويوضح شكل (٣–٢٢) أطوال الموجات الضوئية التى تبثها مختلف أنواع المصابيح التى ورد بيانها (عن Nelson ١٩٨٥)

وإلى جانب الإضاءة الصناعية، فإن الاختيار الأمثل لشكل البيت واتجاهه ومادة الغطاء كل ذلك يساعد على زيادة نفاذية الضوء إلى داخل البيت

كذلك فإن تنظيف أغطية البيوت من الأتربة التى تتراكم عليها خلال فصل الصيف يفيد كثيرًا فى زيادة نفاذيتها لأشعة الشمس عند الحاجة إلى ذلك خلال فصل الشتاء. ويعتبر ذلك الإجراء ضروريًا فى بداية فصل الشتاء فى المناطق الباردة والمعتدلة على حد سواء وأفضل طريقة للتنظيف هى رش الغطاء أولاً بمحلول ٥٪ من حامض الأوكساليك؛ ثم غسله بالماء ويجب تجنب استعمال ماء به نسبة مرتفعة من الجير، حتى لا يترك رواسب على الغطاء



شكل (٣-٢٢). الطيف الصادر عن مختلف أنواع المصابيح الكهربائية المستعملة فى الزراعات المحمية

الاستعمال التجارى للإضاءة الصناعية

لا تستعمل الإضاءة الصناعية على النطاق التجارى إلا فى المناطق التى تنخفض فيها شدة الإضاءة الطبيعية إلى درجة يضعف معها النمو النباتى؛ حيث تؤدى الإضاءة الصناعية

إلى زيادة النمو النباتى و لمحصول ويطبق ذلك على نطاق تجارى فى أوروبا شمال خط عرض ٥٠°. وفى أمريكا الشمالية شمال خط عرض ٤٠°

وقد تستعمل الإضاءة الصناعية فى هذه المناطق طول موسم النمو، ولكن الأكثر شيوعًا هو استعمالها فى المراحل المبكرة من النمو النباتى. وخاصة فى المشاتل، حيث تكون النباتات متزاحمة فى مساحة محدودة

فمثلا تبدأ الإضاءة لبادرات الطماطم من مرحلة الإنبات، وتستمر لفترة أسبوع واحد إلى ثلاثة أسابيع، بشدة ٥٠٠٠ لكس Lux (٤٦٥ قدم شمعة)، لمدة ١٢ ساعة يوميًا، على ألا تزيد فترة الإضاءة الكلية (الطبيعية والصناعية معًا) على ١٦ ساعة. تجعل هذه المعاملة الشتلات أسرع نموًا، بحيث تصل إلى الحجم المناسب للشتل فى وقت قصير نسبيًا.

ووجد أن تعريض نباتات الطماطم الصغيرة لإضاءة شدتها ٥٠، و ١٠٠، و ١٥٠ ميكرومول/ثانية/م^2 ($\mu mol\ s^{-1}\ m^{-2}$) — بطول موجى يتراوح بين ٤٠٠ مللى ميكرون و ٧٠٠ مللى ميكرون - أدى إلى زيادة المحصول المبكر خلال الأسابيع الثلاثة الأولى من الحصاد بنسبة ١٩٪، و ٣١٪، و ٤٢٪ على التوالى

كما تستعمل مع بادرات الخيار إضاءة صناعية شدتها ٣٠٠٠-٥٠٠٠ لكس Lux (٢٨٠-٤٦٥ قدم شمعة). ومع الخس إضاءة شدتها ٧٥٠٠ لكس، إلى جانب الإضاءة الطبيعية وقد وجد أن نمو الخس لمدة ١٠ أيام تحت إضاءة صناعية مستمرة شدتها ٥٠٠٠ لكس (٤٦٥ قدم شمعة) يعادل النمو الذى يحدث خلال ستة أسابيع — تحت ظروف الإضاءة الطبيعية — فى هذه المناطق.

وقد وجد Blain وآخرون (١٩٨٧) — فى كندا — أن زيادة شدة الإضاءة بمقدار ٣٠٠ ميكرومول/ثانية/م^2 ($300\ \mu m.s^{-1}/m^2$) لمدة ١٨ ساعة يوميًا — بالإضافة إلى الإضاءة الطبيعية - أحدثت زيادة كبيرة فى نمو نباتات الخيار ومحصولها

وقد وجد أن زراعات الخس الرومين المحمية تستجيب لزيادة فترة الإضاءة — من ١٦ ساعة إلى ٢٤ ساعة — عند استعمال مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالى، وذلك بزيادة

محصول الخس بنسبة ٥٠٪، مقارنة باستعمال المصابيح الفلورية (النيون) عند مستوى شدة الإضاءة نفسه، على الرغم من أن استهلاك الكهرباء كان أقل فى النوع الأول بمقدار ٣٦٪، مقارنة بالاستهلاك فى النوع الثانى. وكان مرد ذلك إلى زيادة نسبة الأشعة التى تنبعث من مصابيح الصوديوم ذات الضغط العالى من الموجات التى يتراوح طولها بين ٧٠٠ مللى ميكرون و ٨٥٠ مللى ميكرون (Koontz وآخرون ١٩٨٧).

وعلى الرغم من تأكيد جميع الدراسات التى أجريت على الخس فى الزراعات المحمية استجابته الكبيرة لزيادة شدة الإضاءة، سواء بزيادة المحصول، أم بقصر فترة الإنتاج .. إلا أن ذلك يكون مصاحبًا — غالبًا — بزيادة فى شدة الإصابة باحتراق حواف الأوراق، وهو عيب فسيولوجى ذو علاقة بكل من نقص الكالسيوم ومعدلات النمو العالية التى تحدث فى الظروف المثلى للنمو (Gaudreau وآخرون ١٩٩٤).

كما أدت زيادة شدة الإضاءة لمدة ساعتين قبل شروق الشمس وساعتين أخريين بعد الغروب — فى إيطاليا — من لمبات فلورية بقوة ٦٥ وات — إلى تبكير أول زهرة مؤنثة بمقدار ١٥ يومًا فى الفاصوليا. و ٩ أيام فى كل من الكوسة والخيار، وإلى زيادة المحصول الكلى بنسبة ٦٧٪، و ٢٤٪، و ١٤٪ فى المحاصيل الثلاثة على التوالى (Foti وآخرون ١٩٩١)

ويستدل من دراسات Warren-Wilson وآخرين (١٩٩٢) على أن نباتات الخيار والطماطم التى يبلغ طولها نحو مترين تستقبل نحو ٧٦٪ — من أشعة الشمس الساقطة عليها — على الأسطح العلوية للأوراق، بينما يفقد نحو ١٨٪ من الإشعاع فى الفراغات التى توجد بين النباتات. ويؤدى وجود بوليثيلين أبيض على سطح التربة إلى عكس الضوء الذى يصل إليه — إلى أعلى — الأمر الذى يجعل الأسطح السفلية للأوراق تستقبل نحو ١٣٪ من الإضاءة التى تستقبلها الأسطح العلوية.

وفى المناطق الشمالية التى تقل فيها فترة وشدة الإضاءة شتاءً — مثل النرويج وفنلندا — والتى يتعين فيها توفير الإضاءة الصناعية لمدة قد تصل إلى ٢٠ ساعة يوميًا .. وجد أن

وضع ٣٥٪ من لمبات الإضاءه بين النموات الخضرية، و ٦٥٪ منها أعلى النموات أدى إلى زيادة محصول ثمار الخيار بنسبة حوالى ٨٪-١١٪ عما فى حالة وضع كل اللمبات أعلى النموات الخضرية (Pettersen Hovi-Pekkanen & Tahvonen وآخرون ٢٠١٠)

وقد وجد أن توفير إضاءة صناعية من لمبات الصوديوم ذات الضغط العالى بين الحادية عشرة مساء والسابعة صباحًا لمدة ٢٤ يومًا — بالإضافة إلى الإضاءة الطبيعية نهارًا — أدى إلى زيادة النمو النباتى وتركيز الكلوروفيل ومعدل البناء الضوئى فى كل من الخس والطماطم. مع زيادة التأثير بزيادة شدة الإضاءة وقد ظهرت تلك التأثيرات بدءًا من اليوم الثامن للمعاملة الضوئية هذا إلا أن الزيادة فى تركيز الكلوروفيل اختفت وعاد مستواه لمستوى الكلوروفيل فى معاملة الكنترول بعد ٨ أيام من وقف الإضاءة الصناعية وقد تميزت النباتات التى أعطيت المعاملة الضوئية ليلاً بزيادة معدل البناء الضوئى فيها نهارًا كذلك (Fukuda وآخرون ٢٠٠٠).

وقد قورن نمو شتلات الخيار فى ثلاثة ظروف مختلفة للإضاءة كانت كما يلى:

١- تحت لمبات فلورسنتية تشع نسبة عالية من الأشعة الحمراء R إلى الأشعة تحت الحمراء FR (FL_H)، بنسبة R:FR = ٧,٠

٢- تحت لمبات هاليد معدنى metal halide (أو ML) تعطى طيفًا شبيهًا بطيف ضوء الشمس. بنسبة R FR = ١,٢

٣ - تحت لمبات فلورسنتية تشع نسبة منخفضة من الأشعة الحمراء إلى الأشعة تحت الحمراء (FL_L). بنسبة R FR = ١١

وفى المعاملات الثلاث كانت كثافة شدة الإضاءة النشطة فى البناء الضوئى photosynthetic photon flux density (اختصارًا: PPFD) مقدارها ٣٥٠ ميكرومول/سم^2 فى الثانية

ولقد وجد أن استجابة البناء الضوئى للشتلات تحت الـ FL_H تماثلت مع تلك التى كانت تحت ضوء الشمس، بينما كانت الاستجابة لكل من معاملتى الـ ML والـ FL_L مماثلة لاستجابة أوراق الظل. وقد تميزت شتلات الـ FL_H بزيادة سمك أوراقها وزيادة

محتواها من الكلوروفيل فى وحدة المساحة الورقية عن شتلات الـ ML والـ FL_L. كذلك ازداد البناء الضوئى فى بادرات الـ FL_H عما فى شتلات المعاملتين الأخرتين عندما عرضت لمستويات عالية من الـ PPFD (حتى ١٠٠٠ ميكرومول/سم^2 فى الثانية)، وربما كان مرد ذلك إلى ما أحدثته تلك المعاملة من تحسن فى معدل انتقال الإليكترونات فى البناء الضوئى، نتيجة لتغيرات فسيولوجية ومورفولوجية حدثت استجابة للضوء العالى فى نسبة R : FR (Shibuya وآخرون ٢٠١٠).

وأدى تعريض شتلات الخس للضوء الأزرق (١٠٠ ميكرومول/م^2 فى الثانية من لمبات diode مشعة للضوء الأزرق) لمدة أسبوع إلى تحسين نمو نباتات الخس بعد الشتل،وكان مرد ذلك إلى ما أحدثته المعاملة من زيادة فى الكتلة البيولوجية لكل من الجذور والنموات الهوائية. ومن زيادة فى المحتوى الكلوروفيلى الكلى، وفى نشاط مضادات الأكسدة (البولى فينولات والكاروتينات) فى شتلات الخس، إضافة إلى أن نمو الشتلات المعاملة كان أكثر اندماجا. وكان ذلك مفيدًا فى عملية الشتل (Johkan وآخرون ٢٠١٠).

التحكم فى الفترة الضوئية

يعتبر التحكم فى الفترة الضوئية بالزيادة أو بالنقصان إحدى المعاملات الزراعية الروتينية فى الإنتاج التجارى لبعض نباتات الزهور؛ بغية التحكم فى موعد إزهارها. أما فى محاصيل الخضر، فليس لذلك الأمر أهمية تذكر إلا فى الحالات التالية:

١- فى البيوت المحمية المخصصة لأغراض البحوث كالدراسات الخاصة بالتأقّت الضوئى.

٢- فى المناطق الشمالية شتاءً عندما تكون الفترة الضوئية أقصر مما يلزم للنمو النباتى الجيد.

هذا ويتم تقصير الفترة الضوئية بسواتر من القماش الأسود تثبت على حوامل خاصة أعلى النباتات؛ لتمنع وصول الضوء إليها بعد عدد معين من ساعات النهار. وتحرك هذه السواتر يدويًا أو آليًا فى الوقت المحدد يوميًا.

ويفضل استعمال ستائر ذات سطح خارجي عاكس للضوء، حتى لا تتجمع الحرارة تحتها، الأمر الذى قد يسبب أضرارا للنباتات ويمكن الحد من هذه المشكلة بسحب الستارة من السابعة مساء وليس قبل ذلك

اما زيادة طول الفترة الضوئية فإنها تتم بالإضاءة الصناعية وإذا كان الهدف من وراء ذلك هو تحسين ظروف النمو فى المناطق الشمالية شتاءً (حيث يكون النهار فيها قصيرًا للغاية)، فإن المصابيح تتم إضاءتها لعدة ساعات يوميًا ابتداءً من قبل الغروب بنحو ساعة أو ساعتين. أما إذا كان الهدف من زيادة طول الفترة الضوئية هو تحفيز نباتات النهار الطويل (أو نباتات الليل القصير) على الإزهار فإن ذلك يتم بتوفير الإضاءة الصناعية — لفترة قصيرة — فى منتصف فترة الظلام، حيث تتحول صبغة الفيتوكروم Phytochrome Pigment — التى تتراكم فى النباتات أثناء الظلام — سريعًا — إلى الصورة Pfr — بمجرد تعرض النباتات للضوء، الأمر الذى يحفز نباتات النهار الطويل على الإزهار.

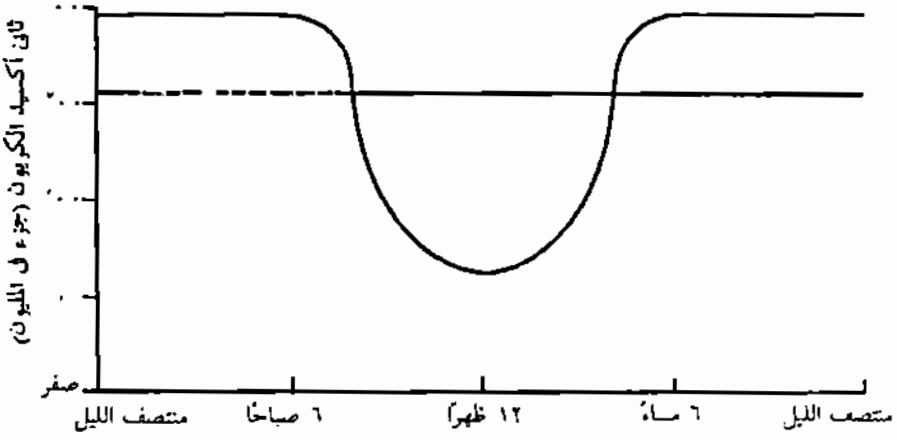
وتستعمل المصابيح المتوهجة (التنجستين) فى كسر فترة الظلام الطويلة، لأن نسبة كبيرة من الضوء الذى ينبعث منها يكون فى منطقة الضوء الأحمر المطلوب للصبغة Pr كما يتم إحداث التأثير المطلوب بشدة إضاءة منخفضة للغاية لا تتعدى ١١–٢٢ لكس (١–٢ قدم شمعه) فى معظم النباتات. ولكن تستعمل — عادة — إضاءة شدتها ١٠٨ لكس (١٠ قدم شمعة). كما ينبغى وصول الضوء إلى الأوراق المكتملة النمو، لتأمين إحداث التأثير المطلوب.

ويمكن جعل صبغة الفيتوكروم فى الصورة Pfr — دائمًا — بتوفير وميض من الضوء — بشدة ١٠٨ لكس (١٠ قدم شمعة) — لمدة ثانية واحدة كل خمس ثوان. وعلى الرغم من أن ذلك يوفر فى الطاقة الكهربائية المستهلكة، إلا أنه يزيد من التكلفة الإنشائية لاحتياج هذا النظم إلى مفتاح تشغيل ذى قدرة كبيرة على التحمل.

التحكم فى نسبة ثانى أكسيد الكربون فى هواء البيوت المحمية

تستهلك النباتات غاز ثانى أكسيد الكربون فى عملية البناء الضوئى. فإذا ظلت

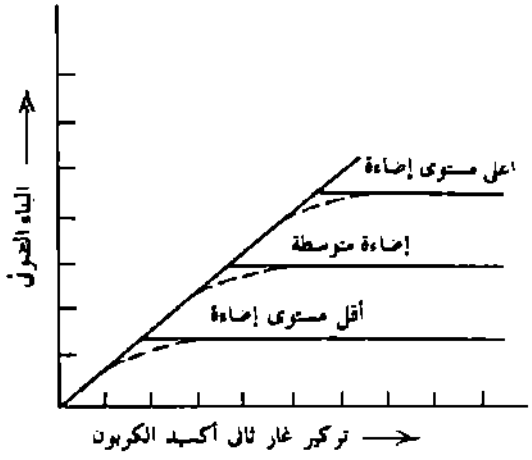
البيوت المحمية مغلقة لفترة طويلة — كما هى الحال فى المناطق الباردة خلال فصل الشتاء — فإن تركيز الغاز ينخفض إلى معدلات شديدة الانخفاض يقل معها معدل البناء بدرجة كبيرة. وقد أثبتت عديد من الدراسات أن نسبة الغاز تنخفض حول النموات النباتية النشطة فى البيوت المحمية أثناء النهار، وقد يستمر هذا الانخفاض لفترات طويلة (شكل ٣-٢٣). ويصاحب ذلك نقص فى معدل البناء الضوئى يصل إلى ٥٠٪ عند انخفاض تركيز الغاز إلى ١٦٠ جزءًا فى المليون (٠,٠١٦٪). وعلى العكس من ذلك .. فإن معدل البناء الضوئى يزداد بمقدار ٥٠٪ عند زيادة تركيز الغاز من ٣٣٥ إلى ١٠٠٠ جزء فى المليون (أى من التركيز الطبيعى ٠,٠٣٣٥٪ إلى ٠,١٪) وقد تصل الزيادة فى البناء الضوئى إلى ١٠٠٪ إذا كانت الزيادة فى تركيز الغاز مصحوبة بإضاءة قوية وحرارة مرتفعة بالقدر المناسب للنمو النباتى (عن Slack & Hand ١٩٨٥).



شكل (٣-٢٣): التغيرات فى نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون فى البيوت المحمية المغلقة (الخط البيانى المتصل)، مقارنة بنسبة الغاز فى الهواء الطلق (الخط المتقطع) (عن Ball ١٩٨٥).

ويخضع تأثير زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون على معدل البناء الضوئى لقانون العامل المحدد Principle of the limiting factor كما هو مبين فى شكل (٣-٢٤). فتؤدى زيادة تركيز الغاز إلى زيادة معدل البناء الضوئى إلى أن يصبح مستوى الإضاءة عاملاً محددًا؛ فتتوقف الزيادة فى معدل البناء الضوئى. ومع زيادة مستوى الإضاءة

تستمر الزيادة فى معدل بناء لضوئى مع زيادة نسبة ثانى أكسيد الكربون؛ حتى يصبح الضوء عاملا محددا مرة ثانية وهكذا

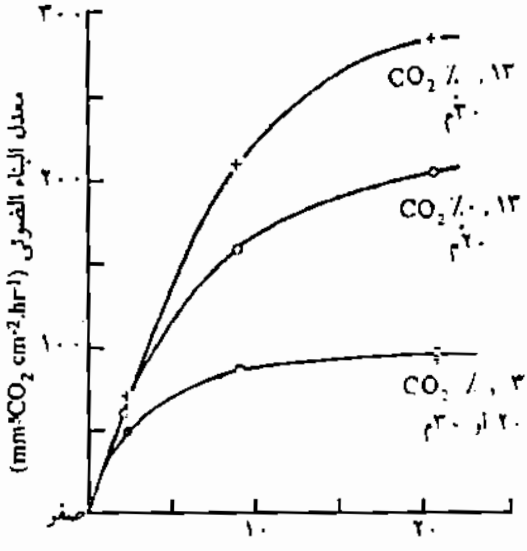


شكل (٣-٢٤) تأثير شدة الإضاءة على الزيادة التى تحدث فى معدل البناء الضوئى عند زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون (نظرية العامل المحدد).

ولقد ازداد معدل البناء الضوئى فى نباتات الخس بالمزارع الهوائية (وهى التى تبقى فيها الجذور فى الهواء، مع تعرضها لرذاذ دقيق من المحلول المغذى)، وازداد فيها توصيل الثغور بارتفاع حرارة الهواء من ٢٢/٢٨°م (نهار/ليل) إلى ٣٠/٣٦°م. وتراكم بالنباتات قدرًا أكبر من المواد الغذائية المجهزة فى الحرارة العالية. كذلك وجد فى شدة إضاءة بناء ضوئى PAR ≤ ٦٠٠ ميكرومول/م^{2} فى الثانية أن زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون حول الجذور من التركيز الطبيعى ٣٦٠ جزءًا فى المليون إلى ٢٠٠٠ أو ١٠٠٠٠ أو ٥٠٠٠٠ جزءًا فى المليون أحدثت زيادة جوهرية فى معدل البناء الضوئى وانخفاضًا فى درجة توصيل الثغور وفى التركيزات العالية من ثانى أكسيد الكربون حول الجذور كانت الزيادة فى الكتلة الحيوية أعلى فى الجذور عما فى النموات الخضرية؛ الأمر الذى قلل من نسبة النموات الخضرية إلى الجذور (He وآخرون ٢٠١٠)

ويبين شكل (٣-٢٥) كيف يتفاعل كل من تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون وشدة

الإضاءة ودرجة الحرارة فى التأثير على معدل البناء الضوئى فى الخيار؛ حيث نجد فى جميع المنحنيات بالشكل أن معدل البناء الضوئى يزداد تدريجيًّا بزيادة شدة الإضاءة لكن الزيادة تظل محدودة فى التركيز المنخفض للغاز أيًّا كانت درجة الحرارة. ومع زيادة تركيز الغاز يزداد معدل البناء الضوئى، لكن هذه الزيادة تكون أكبر فى درجة الحرارة المرتفعة (٣٠°م) منها فى درجة الحرارة المنخفضة (٢٠°م) (عن Mastalerz ١٩٧٧):



شكل (٣-٢٥): تداخل درجة الحرارة مع شدة الإضاءة فى التأثير على الزيادة التى تحدث فى معدل البناء الضوئى فى الخيار عند زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون.

وتتوقف الزيادة فى النمو — عند زيادة تركيز الغاز — على المحصول المزروع، وحالته، وعمره، والظروف البيئية الأخرى. فقد أوضحت عديد من الدراسات استجابة الطماطم والخيار والخس لهذه المعاملة. وعمومًا .. تكون الاستجابة كبيرة عندما يكون المحصول المزروع بحالة جيدة، خاصة فى المراحل المبكرة من النمو، وعندما تكون الإضاءة جيدة والحرارة مناسبة، مع الاهتمام بالتسميد.

وعند التعذية بغاز ثانى أكسيد الكربون تتعين زيادة تركيز العناصر المغذية قليلاً لكى تكون الاستفادة كاملة من الزيادة التى تحدث فى معدل البناء الضوئى جراء الزيادة فى تركيز الغاز وتجدر ملاحظة أن زيادة تركيز الغاز تُحدث انغلاقا جزئيًا للثغور، الأمر الذى يؤثر فى معدل النتح، ومن ثم معدل امتصاص عنصرى الكالسيوم والبورون، مما يتطلب زيادة تركيز هذين العنصرين خاصة.

هذا ولا توجد أية خطورة على الإنسان من جراء زيادة تركيز الغاز فى البيوت المحمية حتى التركيز المناسب الذى يتراوح – عادة – بين ١٠٠٠ و ١٥٠٠ جزء فى المليون، لأن الإنسان يتحمل زيادة تركيز الغاز حتى ٥٠٠٠ جزء فى المليون، ولكن زيادته لأكثر من ذلك تؤدى إلى الاختناق، لعدم قدرة الرئتين على أداء وظيفتهما بكفاءة تحت هذه الظروف.

مصادر غاز ثانى أكسيد الكربون المستخدم فى البيوت المحمية

إن من أهم مصادر غاز ثانى أكسيد الكربون المستخدم فى البيوت المحمية ما يلى:

١- بعض أنواع المحروقات، مثل الكيروسين، والبارفين Paraffin، وغاز البروبان Propane. والغاز الطبيعى حيث يؤدى احتراقها فى مواقد خاصة إلى إنتاج غاز ثانى أكسيد الكربون. لكن يجب أن تكون هذه المحروقات على درجة عالية من النقاوة، نظرًا لأن الكبريت الموجود بها قد يتحول إلى ثانى أكسيد الكبريت الذى يذوب فى الماء بسهولة، ثم يتحول إلى حامض كبريتوز، ثم إلى حامض كبريتيك، مما يؤدى إلى احتراق أوراق النبات. ولذا يجب ألاّ يزيد محتوى الوقود من الكبريت عن ٠,٠٢٪ بالوزن. ويتم التحكم فى تركيز الغاز فى الصوبة بالتحكم فى معدل الاحتراق، أو فى كمية المحروقات المستعملة.

كما يجب أن يكون الاحتراق تامًا، لأن الاحتراق غير التام يتبعه إنتاج غازات الإثيلين، وأول أكسيد الكربون، وكلاهما ضار بالنباتات، والثانى سام للإنسان، ولهذا تستخدم مواقد خاصة لإنتاج الغاز. وعند تشغيلها تجب معايرتها باستمرار لتعطى دائمًا لهبًا صافيا، مع توفير أكسجين كافٍ لتمام احتراق الوقود.

وينتج عن احتراق الوقود انطلاق بخار الماء ويقدر ذلك بنحو ١,٤ كجم من بخار الماء لكل متر مكعب من الغاز الطبيعى المحترق. وتقل كمية بخار الماء المنطلقة عن ذلك قليلاً فى حالة احتراق البروبان.

ويُحرق الغاز الطبيعى والبروبان والوقود السائل فى مولدات خاصة لثانى أكسيد الكربون توزع داخل الصوبة، ومن المهم جدًا أن يكون احتراق الوقود كاملاً.

٢- ينتج الغاز أيضًا بتسامى غاز ثانى أكسيد الكربون الصلب (الثلج الجاف) بوضعه فى أسطوانات خاصة تعلق فى أماكن متفرقة من البيت؛ ويتم التحكم فى معدل انطلاق الغاز منها باستعمال عداد خاص لتدفق الغاز. أو باستعمال منظم.

٣- كما ينتج الغاز بتبخير ثانى أكسيد الكربون السائل — والمضغوط فى أنابيب خاصة — من خلال أنابيب بوليثيلين مثقبة. كتلك المستعملة فى تهوية البيوت.

ولقد أصبح من المفضل استخدام ثانى أكسيد الكربون السائل على الرغم من أنه أكثر تكلفة. ومن أهم مزاياه نقاوته، وعدم وجود أى خطر من استعماله بخصوص الإضرار بالنباتات أو إنتاج بخار الماء، كما يتميز استعماله بسهولة التحكم فى معدلات إطلاقه.

٤- يمكن — كذلك — أن يتوفر ثانى أكسيد الكربون فى البيوت المحمية من السبلة الحيوانية والمخلفات العضوية الأخرى مثل القش، التى ينطلق الغاز منها عند تحللها، ولكن ذلك التحلل يتوقف على مدى نشاط الكائنات الدقيقة التى تقوم به؛ الأمر الذى يتوقف — بدوره على توفر الحرارة والرطوبة المناسبتين. وجدير بالذكر أن إنتاج ثانى أكسيد الكربون من المواد العضوية المتحللة لا يكون جوهريًا إلاّ خلال الشهر الأول من إضافته للتربة (Quarrell & Ace ١٩٧٥، و Blom وآخرون ٢٠٠٣).

وإلى جانب المصادر التى سبق بيانها، فإن تهوية البيوت المحمية تفيد فى المحافظة على التركيز الطبيعى للغاز فى هواء البيت، ويجب ألاّ تتأخر التهوية لأكثر من ساعتين بعد شروق الشمس.

حسابا احتياجات البيوت من غاز ثانى أكسيد الكربون

العوامل المؤثرة على احتياجات البيوت من الغاز

تتأثر احتياجات البيوت المحمية من غاز ثانى أكسيد الكربون بالعوامل التالية

١- السرعة التى يتغير بها هواء البيت

يتغير هواء البيت باستمرار، حتى لو كان محكم الإغلاق وفى غير فترات التهوية. وذلك بسبب وجود منافذ وشقوق يتسرب منها الهواء للخارج. وتختلف سرعة تغيير الهواء حسب نوع البيت فالبيوت الزجاجية المعتنى بها يتغير فيها ربع إلى ضعفى هواء البيت كل ساعة بصورة طبيعية وبدون تهوية، ويتوقف ذلك على سرعة الهواء فى الجو الخارجى. وفى المتوسط يتغير هواء البيت مرة كل ساعة وبالمقارنة فإن هواء البيوت البلاستيكية المحكمة الإغلاق يتغير بمعدل نصف إلى ثلثى مره فى الساعة

٢ طريقة إضافة الغاز

تكون حرارة الغاز المضاف فى صورة نقية مساوية تقريبًا لحرارة البيت أو أقل قليلاً، فيبقى فى المنطقة المحيطة بالنباتات، خاصة أن الغاز يضاف — عادة — من خلال ثقوب دقيقة فى أنبوبة بلاستيكية تمتد بجانب النباتات، أما الغاز الناتج من احتراق الوقود، فإن حرارته تكون أعلى بكثير من حرارة الهواء داخل البيت (خاصة عندما تقع أجهزة حرق الوقود داخل البيت) ويؤدى ذلك إلى خفة وزنه وتصاعده لأعلى بسرعة، حيث يتراكم فى قمة البيت قريبًا من فتحات التهوية، مما يزيد من فرصة فقده إلى خارج البيت، خاصة عندما لا تكون فتحات التهوية محكمة الإغلاق.

٣- سرعة استنفاذ النباتات للغاز

تتوقف سرعة استهلاك النباتات للغاز على حجم النمو النباتى، ودرجة الحرارة، وشدة الاضاءة وتتراوح الكمية المفقودة — عادة — بين صفر و ٧٥ كجم من الغاز/فدان/ساعة وبحدد أقصى استهلاك للغاز عندما يكون النمو النباتى مغطيًا للمساحة المزروعة تمامًا، مع توفر إضاءة قوية

٤- تنفس الكائنات الدقيقة، وتحلل المادة العضوية:

يؤدى تنفس الكائنات الدقيقة فى التربة وتحلل المادة العضوية التى توجد بها إلى إنتاج كميات محسوسة من الغاز تتصاعد إلى جوانب البيت. وتزداد هذه الكميات المنتجة طبيعيًا بصورة جوهرية عند استعمال بالات القش المضغوط فى الزراعة؛ فيزيد تركيز الغاز بعد الزراعة بفترة قصيرة إلى ٠٧ ٠٪-٠,١٪، ثم تنخفض النسبة لتستقر بعد عدة شهور عند حوالى ٠٤ ٠٪

حساب كمية الغاز اللازمة

كقاعدة يمكن الاعتماد عليها فى حساب الحاجة لإضافة ثانى أكسيد الكربون (من أنابيب الغاز السائل) من عدمه، فإن المحصول النامى جيدًا يستهلك فى الإضاءة الجيدة حوالى ٠,٥ رطل من ثانى أكسيد الكربون فى الساعة لكل ١٠٠٠ قدم مربع من سطح أرضية البيت المحمى (١/٤ كجم لكل ١٠٠م٢ فى الساعة).

إن البيوت المحمية التى يبلغ ارتفاعها ٢,٤م يكون حجمها حوالى ٤٠٠م٣/١٠٠م٢ من سطح التربة فيها. ولزيادة مستوى ثانى أكسيد الكربون فيها من ٣٠٠ إلى ١٣٠٠ جزء فى المليون تلزم إضافة حوالى ١ ٠٪ (١٠٠٠ جزء فى المليون)، ويتطلب ذلك ٠,٤م٣ أو ٠,٧٥ كجم من ثانى أكسيد الكربون لكل ١٠٠م٢ من سطح التربة بالصوبة تجب إضافة تلك الكمية قبل شروق الشمس بنحو ساعة لأن نشاط البناء الضوئى يكون أعلى ما يمكن فى الصباح المبكر. ولدى الوصول إلى تركيز ١٣٠٠ جزء فى المليون تجب المحافظة عليه.

ونظرًا لاستمرار تجدد هواء الصوبة بمقدار تغيير كامل واحد كل ساعة، فإن ذلك يخفف من تركيز الغاز، وللمحافظة على تركيز ١٣٠٠ جزء فى المليون تجب إضافة ٠,٣٧ كجم من الغاز فى الساعة لكل ١٠٠م٢ من أرض الصوبة.

وتستهلك النباتات فى عملية البناء الضوئى غاز ثانى أكسيد الكربون بمعدل ٠,١٢-٠,٢٤ كجم فى الساعة لكل ١٠٠م٢ من أرض الصوبة، ويكون المعدل العالى فى الجو الصحو ومع النمو المحصولى الكامل.

وعند الجمع بين معدلتين (تبادل الهواء من خارج الصوبة وداخلها، واستهلاك ثانى أكسيد الكربون فى عمليه البناء الضوئى) فإنه يلزم حوالى ٠,٥-٠,٦ كجم من ثانى أكسيد الكربون فى الساعة لكل ١٠٠م٢ من أرضية الصوبة للمحافظة على تركيز ١٣٠٠ جزء فى المليون

ويتعين التوقف عن إطلاق الغاز قبل الغروب بنحو ساعة، إلا إذا توفرت إضاءة صناعية ليلا (Blom وآخرون ٢٠٠٣)

وجدير بالذكر أن كمية المحروقات التى تلزم لإنتاج ١ كجم من غاز ثانى أكسيد الكربون تقدر بنحو ½ كجم من البروبان، أو ½ كجم من البارافين paraffin، أو ٠,٢٣ therms من الغاز الطبيعى (Allen ١٩٧٣)

كما إن

١ كجم من ثانى أكسيد الكربون = ٥٧٠ لتر من الغاز.

١ م٣ من الغاز الطبيعى ينتج حوالى ١,٨ كجم (١٠٠٠ لتر) من ثانى أكسيد الكربون عند احتراقه + ١٤ لتر من الماء

١ م٣ من الغاز الطبيعى = ٠,٧٥ لتر من الكيروسين = ١,٠ لتر من البروبان فيما يتعلق بكمية غاز ثانى أكسيد الكربون المنتجة

ومن الأمور التى تجب مراعاتها بشأن إطلاق الغاز، ما يلى:

١- لا يطلق الغاز إلا نهارا لكى يمكن الاستفادة منه فى عملية البناء الضوئى

٢- ترد الفائدة من إطلاق الغاز عندما تكون الصوبة مغلقة.

٣- لا توجد جدوى من محاولة زيادة تركيز الغاز فى جو الصوبة فى الوقت الذى تعمل فيه مراوح التهوية

٤- إن أنسب وقت لضخ الغاز هو فى الجو البارد الصحو

يلزم توفر الأجهزة الخاصة بتقدير تركيز الغاز بدقة فى جو البيت، وأبسطها هى الأجهزة التى تعتمد فى عملها على تغير لون مركب كيمائى حساس للغاز بدرجة تعتمد

على تركيز الغاز. وبذلك يمكن تقدير التركيز من اللون المشاهد. كما تتوفر أجهزة قياس دقيقة. ولكنها مرتفعة الثمن

ويفضل دائمًا وضع جهاز الإحساس بثانى أكسيد الكربون بين النمو النباتى على مسافة نحو ٢/٣ ارتفاع النمو من الأرض، كما يتعين حقن ثانى أكسيد الكربون بين النموات النباتية كذلك، وليس فى الهواء الذى يعلو تلك النموات. ومن الأهمية بمكان ألاّ يوضع جهاز الإحساس بالغاز قريبًا من أماكن إطلاقه. ويكفى — عادة — جهاز واحد للإحساس بالغاز لكل صوبة.

ولمزيد من التفاصيل عن استخدامات غاز ثانى أكسيد الكربون فى البيوت المحمية يراجع المؤلف الخاص بذلك للجمعية الأمريكية للمهندسين الزراعيين (Amer. Soc. Agr Eng ١٩٨٠)

الحالات التى لا تجدى فيها التغذية بغاز ثانى أكسيد الكربون

لا تفيد التغذية بغاز ثانى أكسيد الكربون إلاّ فى المناطق الباردة، حيث تظل البيوت المحمية محكمة الإغلاق للمحافظة على درجة الحرارة بها، مما يؤدى إلى استهلاك الغاز فى عملية البناء الضوئى. ويعتبر خط عرض ٣٥°م (شمال أو جنوب خط الاستواء) هو الحد الفاصل بين المناطق التى يمكن فيها التغذية بالغاز، وتلك التى لا تناسبها إضافة الغاز، ففى خطوط العرض الأقل من ذلك، ترتفع درجة الحرارة داخل البيوت المحمية شتاءً إلى الحد الذى يتطلب تهويتها، مما يستحيل معه زيادة تركيز الغاز.

كذلك فإن إضافة الغاز لا تجدى إلا خلال ساعات النهار، حتى يمكن الاستفادة منه فى عملية البناء الضوئى.

ولا تكون الإضافة مجدية — عادة — إلا خلال فترة انخفاض درجة الحرارة من أكتوبر حتى مايو. وتزيد الاستفادة من إضافة الغاز عند الاهتمام بالإضاءة ورفع درجة الحرارة (Nelson ١٩٨٥)

هذا إلا أن دراسات أجريت فى هذا الشأن (Ioslovich وآخرون ١٩٩٥) أفادت إمكانية تبادل التهوية مع التغذية بغاز ثانى أكسيد الكربون على فترات بالتناوب، وذلك بحيث تزداد التهوية كلما ارتفعت درجة الحرارة. تم إطلاق الغاز عندما تتوقف التهوية

مشاكل التغذية بغاز ثانى أكسيد الكربون

إن أهم مشاكل التغذية بغاز ثانى أكسيد الكربون فى البيوت المحمية ما يلى

١- حالات التسمم للإنسان التى تنشأ عند زيادة تركيز الغاز عن ٥٠٠٠ جزء فى المليون. ولكن النباتات لا تستجيب لأية زيادة فى تركيز الغاز عن ٢٠٠٠ جزء فى المليون، ولا تجب زيادة تركيز الغاز عن ذلك. وأهم أعراض تسمم الإنسان بالغاز الإصابة بالدوار والدوخة وعدم القدرة على التركيز.

٢- زيادة الرطوبة النسبية بدرجة كبيرة عند استعمال المحروقات فى زيادة تركيز الغاز

٣- تسبب التركيزات الأعلى من الموصى بها للغاز تحللات فى الأوراق القديمة بكل من الطماطم والخيار وقد أوضحت دراسات Schwarz (١٩٩٣) أن أعراض التسمم بغاز ثانى اكسيد الكربون ظهرت على ٧ أنواع نباتية بعد ٦ أيام من تعريضها لتركيز ١٠٠٠٠ جزء فى المليون من الغاز، وقد تضمنت الدراسة كلا من: الفاصوليا، والطماطم، والخس، والفجل. وفول الصويا، والقمح، والذرة. تميزت أعراض التسمم بظهور درجات مختلفة من الاصفرار بالأوراق، وتأخر فى النمو والتطور الطبيعيين للنباتات، وظهرت على أوراق الذرة خطوط واضحة مميزة أما الجذور فلم يُحْدِثْ تعريضهُا لهذا التركيز المرتفع من الغاز أية أعراض ملحوظة على النباتات

وكثيرا ما تُظهر نباتات الفلفل التى تنمو فى تركيز عال من ثانى أكسيد الكربون التفافًا بالأوراق واصفرارا. وتتفاوت شدة تلك الأعراض بين الأصناف، وربما تعود هذه الأعراض إلى تراكم المواد الكربوهيدراتية المجهزة بالأوراق (Aloni & Karni ٢٠٠٢)

ولا تقتصر هذه الأعراض على الفلفل، إذ إن أوراق عديد من الأنواع النباتية تصبح صفراء، ومشوهة، وملتفة، وسهلة التقصف فى وجود تركيزات عالية من ثانى أكسيد الكربون لفترات طويلة، ويرجع ذلك إلى تنشيط تراكم المواد الكربوهيدراتية فى الأوراق لآلية التثبيط الاسترجاعى feedback inhibition، الأمر الذى يؤدى إلى تثبيط عملية البناء الضوئى (عن Aloni & Kami ٢٠٠٢)

٤- يمكن للإثيلين عند تركيز ٠,٠٥ جزءًا فى المليون والبروبلين عند تركيزات أعلى أن يُحدث شيخوخة مبكرة لنباتات الطماطم والخيار. وينتج الإثيلين – عادة – عندما يكون الاحتراق غير كامل، بينما قد يتسرب البروبلين عند استعمال البروبان.

٥- يؤدى الاحتراق غير التام للمحروقات إلى إنتاج غاز أول أكسيد الكربون، وهو غاز سام للإنسان وعديم اللون والرائحة.

٦- عند ازدياد حرارة اللهب قد تتكون أكاسيد النيتروجين nitrous oxides، وهى التى تتسبب فى ضعف النمو وحدوث تحللات.

٧- عند تواجد ثانى أكسيد الكربون مع أكاسيد النيتروجين يمكن أن تزداد الأضرار على النبات عما يكون عليه الحال عند تواجد أى منهما منفردًا.

٨- قد تتسرب المحروقات الغازية – ذاتها – إلى هواء البيت (Blom وآخرون ٢٠٠٣).

الاستجابة للتغذية بثانى أكسيد الكربون فى محاصيل الزراعات المحمية

يزداد معدل البناء الضوئى فى معظم محاصيل البيوت المحمية بزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون فى هواء الصوبة من ٣٤٠ إلى ١٠٠٠ جزء فى المليون، وغالبًا ما تكون تلك الزيادة فى معدل البناء الضوئى – عند أى مستوى من الإشعاع النشط فى البناء الضوئى – حوالى ٥٠٪، وقد تكون هذه النسبة من الزيادة اقتصادية فى بعض المحاصيل فى حالة المستويات المنخفضة من الإضاءة.

هذا ويتأثر انتقال غاز ثانى أكسيد الكربون من الهواء الخارجى إلى داخل أنسجة الورقة (الذى يحدث من خلال الثغور) بتركيز الغاز فى الهواء (حيث يزداد الانتقال بزيادة التركيز). وبمدى انفتاح الثغور، وهو الأمر الذى يتأثر بكل من مستوى الإضاءة، وحرارة الأوراق والهواء، والرطوبة النسبية، والشدّ الرطوبى، وتركيز ثانى أكسيد الكربون والأكسجين فى كل من الهواء والأوراق

وبقدر تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء بنحو ٣٤٠ جزءًا فى المليون، وهو مستوى تنمو عنده جميع النباتات جيدًا، ولكن مع زيادة مستوى الغاز إلى ١٠٠٠ جزء فى المليون يزداد معدل البناء الضوئى كذلك، بما يعنى توفر مزيد من السكريات والمواد الكربوهيدراتية للنمو النباتى. ويحدث الأمر العكسى، فينخفض معدل البناء الضوئى عند انخفاض تركيز ثانى أكسيد الكربون من ٣٤٠ إلى ٢٠٠ جزء فى المليون. وهو الأمر الذى يمكن أن يحدث فى البيوت المحمية المحكمة الإغلاق. وعلى الرغم من أن التهوية شتاءً قد تسمح بزيادة تركيز الغاز مرة أخرى، إلا أنها لا تكفى — وحدها — لوصول الغاز إلى تركيزه الطبيعى وهو ٣٤٠ جزءًا فى المليون، وتكون التغذية بثانى أكسيد الكربون هى السبيل الوحيد لزيادة تركيز الغاز.

ويختلف المستوى الذى يجب أن يصل إليه تركيز الغاز باختلاف المحصول، وشدة الإضاءة، ودرجة الحرارة، والتهوية، ومرحلة النمو النباتى، واقتصاديات المحصول. وفى معظم المحاصيل تكون نقطة التشبع بالغاز حوالى ١٠٠٠–١٣٠٠ جزء فى المليون فى الظروف المثالية ويوصى بمستوى منخفض عن ذلك (٨٠٠–١٠٠٠ جزء فى المليون) لإنتاج الشتلات (مثل شتلات الطماطم والفلفل والخيار)، وكذلك لإنتاج الخس، كما يوصى بتركيز أقل من ذلك (٥٠٠–٨٠٠ جزء فى المليون) عند إنتاج بعض أصناف الجربارة gerbera، والبنفسج الأفريقى African violets. هذا وتؤدى زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون إلى تقصير موسم النمو بنحو ٥٪–١٠٪، وكذلك إلى تحسين نوعية المحصول وكميته، وزيادة حجم الأوراق وسمكها (Blomi وآخرون ٢٠٠٣)

ويمكن تقسيم الخضروات (والنباتات عمومًا) إلى مجموعتين رئيسيتين حسب كفاءتها فى استخدام ثانى أكسيد الكربون، وهما:

١- النباتات الـ C-4، مثل الذرة والذرة السكرية والطماطم، وهذه تبلغ أقصى كفاءة لها فى البناء الضوئى ٥٠-٩٠ مجم من ثانى أكسيد الكربون المثبت لكل ديسيمتر مربع (١٠٠سم٢) من سطح الأوراق فى الساعة

٢- النباتات الـ C-3، مثل الفاصوليا، والبسلة، والبطاطس، والسبانخ، وتلك تبلغ أقصى كفاءة لها فى البناء الضوئى ٢٠-٥٠ مجم من ثانى أكسيد الكربون لكل ديسيمتر مربع من سطح الورقة فى الساعة.

وبينما تستجيب النباتات لزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء بزيادة معدل البناء الضوئى، فإن تلك الاستجابة تنخفض بعد أسابيع، أو أيام، أو حتى بعد ساعات أحيانًا وقد أُرجعت تلك الظاهرة إلى انتقال الغذاء المجهز الذى يتوقف بسبب تثبيط أماكن التخزين لاستقبال المزيد منه، فيما يُعرف باسم sink limitation-induced feed-back inhibition

كما أدت زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون لفترة طويلة إلى توقف استجابة نمو ثمار الكنتالوب لتلك الزيادة، الأمر الذى أمكن معادلته بالتدفئة ليلاً، وقد أُرجع ذلك التوقف إلى تراكم الكربون غير البنائى فى أنسجة الأوراق (Kenig & Kramer ٢٠٠٠).

ولقد وجد أن النباتات المعرضة لشدٍّ ملحى تُظهر استجابة أكبر لزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون عن النباتات غير المعرضة لمثل هذا الشدّ. وربما يكون مرد ذلك إلى أن النباتات المعرضة للشدّ الملحى تكون - ابتداءً - عالية فى معدل التنفس (استجابة لزيادة الطلب على الطاقة) ومنخفضة فى معدل البناء الضوئى؛ بما يعنى حاجتها لمزيد من الغذاء المجهز، الذى لا يجد فرصة للتراكم فى الأوراق (عن Li وآخرين ١٩٩٩)

ويُستفاد - عادة - من زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون كبديل للإضاءة الإضافية فى الصوبات، نظرًا لانخفاض تكلفته النسبية، إلا أن استعماله لا يكون اقتصاديًا فى

الصوبات خلال الفترات التى تزداد فيها الحاجة للتهوية (Ferentinos وآخرون ٢٠٠٠)

قد يمكن اللجوء إلى التغذية بثانى أكسيد الكربون فى البيوت المحمية فى المناطق الشمالية الباردة كوسيله لتقصير فترة نمو الشتلات، وزيادة قوة نموها، وربما تحسين النمو لنباتى بعد الشتل فى الحقل المكشوف خلال شهور الربيع ففى تلك المناطق تقل - بشدة - الحاجة إلى تهوية الصوبات فيما عدا فى الأيام الحارة المشمسة. وتستفيد نباتات الشتلات الصغيرة ذات الأنسجة الغضة السريعة النمو من أى تغذية إضافية بثانى أكسيد الكربون هذا إلا إنه مع نضج واكتمال نمو الأوراق الأولى فى التكوين للشتلات فإن تركيز النشا بها يؤدى إلى بطء كلا من معدل البناء الضوئى ومعدل النمو النسبى

ولقد وجد أن الإضاءة الإضافية فى تلك المناطق الشمالية تكون أكثر كفاءة من التغذية بغاز ثانى أكسيد الكربون فى إنتاج الشتلات، فهى يمكن أن تسرع من عمر الشتلات وتزيد من جودتها. وتجعل من الممكن التخطيط للزراعات المتتالية بصورة أفضل. هذا . إلا أن تأثير تلك المعاملة — وكذلك معاملة التغذية بثانى أكسيد الكربون على محصول الشتلات بعد الشتل فى الحقل المكشوف يعد شبه معدوم أو غير منتظم.

وتستفيد الشتلات من زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون والإضاءة الإضافية بالزيادة فى قوة نموها. وفى أوزانها وسمك أوراقها، كما ينخفض فيها معدل النتح (Tremblay & Gosselin ١٩٩٨)

وقد أوضحت دراسات Tremblay وآخرون (١٩٨٧)أن زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون —عند إنتاج شتلات الكرفس فى البيوت المحمية — أدت إلى زيادة مساحة الأوراق والوزن الجاف لكل من النموين الخضرى والجذرى، ولكن لم تكن للمعاملة أية تأثيرات جوهرية على مقاييس النمو عند الحصاد.

وتتشابه كثير من النباتات فى استجابتها لزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون من ٣٥٠

إلى ١٠٠٠ جزء فى المليون خلال المراحل المبكرة من نموها، ولكن استمرار تلك الاستجابة فيما بعد يتأثر بمدى توفر أعضاء التخزين، ولا يهم موقع تلك الأعضاء (الأجزاء التكاثرية، أم الجذور، أم السيقان) بقدر ما يهم حجم تلك الأعضاء وقدرتها على استيعاب الزيادة فى الغذاء المجهز (Reekie وآخرون ١٩٩٨).

وقد درست الاستجابة للتغذية بغاز ثانى أكسيد الكربون فى عدد من محاصيل الخضر، ومن أمثلة تلك المحاصيل ما يلى:

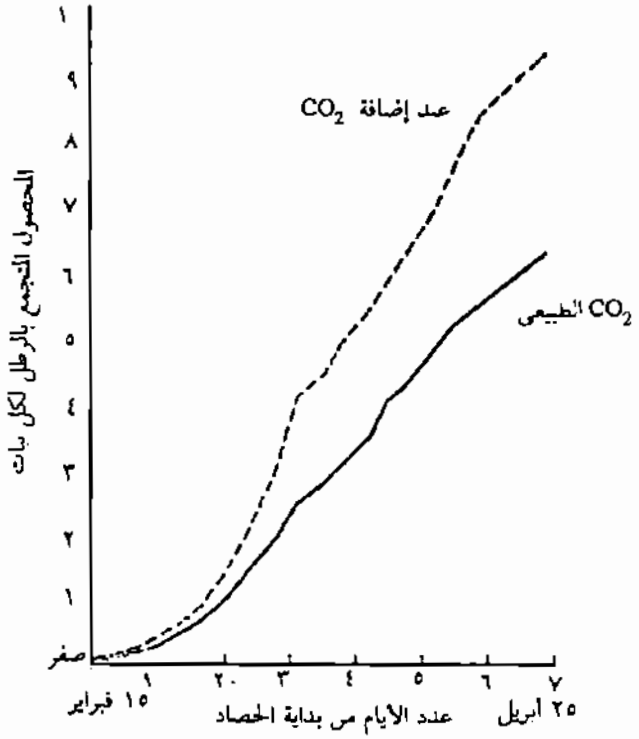
١- الطماطم:

وجد فى دراسة أجريت على الطماطم فى البيوت المحمية أن زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون إلى ١٢٠٠ جزء فى المليون أدت إلى زيادة المحصول المبكر بنسبة ١٥٪، والمحصول الكلى بنسبة ٨٪ (Hand & Soffe ١٩٧١). كما أوضح Knecht O'Leary (١٩٧٤) أن زيادة تركيز الغاز من ٤٠٠ إلى ٨٠٠ جزء فى المليون أحدثت زيادة جوهرية فى المحصول وحجم الثمار. كذلك وجد أن زيادة تركيز الغاز لمدة ٦½ ساعة يوميًا أدت إلى التبكير فى النضج، وزيادة وزن الثمرة، وزيادة المحصول الكلى بنسبة ٣٥٪، وذلك بالمقارنة بزيادة قدرها ٣١٪ و ٢٤٪ فى محصولى الفلفل والباذنجان على التوالى. ويبين شكل (٣-٢٦) تأثير المعاملة بالغاز على محصول الطماطم (عن Wittwer & Honma ١٩٧٩).

وقد أوضحت دراسات Nilsen وآخرون (١٩٨٣) أن الإضاءة العالية ليست ضرورية فى الطماطم لكى تحدث استجابة جيدة لزيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون؛ فقد ازداد معدل البناء الضوئى جوهريًا فى كل المعاملات؛ بما فى ذلك أقل المستويات، لكن الحرارة المرتفعة كانت عاملاً محددًا، فازدادت الاستجابة لزيادة تركيز الغاز مع ارتفاع درجة الحرارة. وقد صاحبت الزيادة فى معدل البناء الضوئى زيادة جوهرية فى المحصول الطازج والجاف.

ويستدل من دراسات Behboudian & Lai (١٩٩٤) على أن زيادة تركيز الغاز أدت إلى خفض معدل النتح، وزيادة معدل البناء الضوئى، مقارنة بمعاملة الشاهد، وحدثت

اكبر استجابة عند زيادة تركيز الغاز إلى ٧٠٠ جزء فى المليون مع حرارة ٢٥°م نهارًا، و ١٦°م ليلا



شكل (٣-٢٦) تأثير المعاملة بغاز ثانى أكسيد الكربون على المحصول فى الطماطم.

وفى المقابل وجد Lee & Lee (١٩٩٤أ) أن زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون إلى ٨٠٠ جزء فى المليون – لفترات طويلة – أدت إلى نقص نفاذية الأوراق لبخار الماء. وانحصر معدل النتح منها (وخاصة فى الأوراق الوسطى على الساق)، وارتفاع درجة حرارتها (وخاصه فى الأوراق التى فى قمة النبات). كما أدت المعاملة بالغاز إلى زيادة معدل البناء الضوئى فى البداية. ثم انخفاضه إلى مستوى البناء الضوئى فى نباتات معاملة الشاهد بعد شهر من بداية المعاملة. مع استمرار انخفاضه إلى مستوى أدنى من نباتات الشاهد – غير المعاملة – بعد ذلك

وفى دراسة أخرى (Lee & Lee ١٩٩٤ب) وجد أن معاملة نباتات الطماطم بغاز ثانى أكسيد الكربون (بتركيز ٨٠٠ أو ٢٤٠٠ جزء فى المليون) لفترات طويلة أدت إلى: زيادة محتوى الأوراق من النشا فى الثامنة صباحًا، ونقص محتواها من الكلوروفيل والبروتين الذائب، ونقص نشاط إنزيم RuBPCase، مقارنة بمعاملة الشاهد.

وتتوقف استجابة الطماطم للمعاملة بغاز ثانى أكسيد الكربون بعد فترة من المعاملة، إلا أن التوقف عن التغذية بالغاز لفترة قصيرة يعيد للنباتات قدرتها على الاستجابة للغاز عند التغذية به من جديد (Blom وآخرون ٢٠٠٣).

٢- الخيار:

أوضحت عديد من الدراسات أن نبات الخيار يستجيب لزيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى البيوت المحمية، بشرط توفر إضاءة جيدة وحرارة مناسبة. وقد كانت الاستجابة فى صورة زيادة فى نمو الأوراق، والتفريع، والإزهار، والمادة الجافة، والمحصول المبكر، والمحصول الكلى. فمثلاً .. وجد Hopen & Ries (١٩٦٢) أن نباتات الخيار استجابت للزيادة فى تركيز الغاز من ٣٥٠ حتى ٢١٥٠ جزءًا فى المليون. وعلى الرغم من أن هذه الاستجابة حدثت أيًا كانت شدة الإضاءة، إلا أن الاستجابة لزيادة تركيز الغاز كانت أكبر مع ازدياد شدة الإضاءة من ٣٠٠ إلى ١٤٠٠ قدم — شمعة. وقد تمثلت هذه الاستجابة على شكل زيادة فى الوزن الطازج، والوزن الجاف للنبات؛ وطول النبات، وعدد الثمار بالنبات. كما أوضحت دراسات Slack & Hand (١٩٨٦) أن نباتات الخيار تستجيب للزيادة فى تركيز الغاز حتى ١٠٠٠ جزء فى المليون شتاءً، وحتى ٤٥٠ جزءًا فى المليون صيفًا، وكانت الاستجابة على شكل زيادة فى المحصول ومتوسط وزن الثمرة. وقد كانت العلاقة طردية بين المحصول ومتوسط تركيز الغاز فى جو البيت، وكانت المعاملات اقتصادية على الرغم من احتياج البيوت إلى التهوية صيفًا.

٣- الخس:

يعتبر الخس من الخضر التى تستجيب بصورة جيدة لزيادة تركيز غاز ثانى أكسيد

الكربون فى البيوت المحمية، دون أن تتأثر نباتات الخس سلبيًّا بنواتج احتراق الوقود المستخدم فى إنتاج الغاز فقد وجد أن زيادة تركيز الغاز إلى ٣-٦ أضعاف التركيز الطبيعى يحدث التأثيرات التالية:

أ- تبكير النضج مدة ١٠ أيام على الأقل، مما يسمح بزراعة محصول إضافى من الخس فى الموسم نفسه

ب- زيادة المحصول بمقدار ٤٠٪ إلى ١٠٠٪، وتكون الزيادة فى المحصول أكبر فى الأصناف السريعة النمو

جـ- زيادة نسبة المادة الجافة.

إلا أن الاستجابة العالية لزيادة تركيز الغاز تتطلب ما يلى:

أ- زيادة درجة الحرارة بمقدار ٦°م-٨°م نهارًا و ٣°م ليلاً

ب- زيادة معدلات الرى

جـ- زيادة معدلات التسميد، خاصة بالنسبة للسماد الآزوتى (Wittwer & Honma ١٩٧٩).

وكان أفضل نمو للخس عندما بلغ تركيز ثانى أكسيد الكربون ١٠٠٠، أو ٢٠٠٠ مجم/لتر وتحت هذه الظروف كانت أفضل شدة إضاءة لنمو الخس > ٢٠٠ ميكرومول/م^{2} فى الثانية، بينما لم تؤثر مستويات العناصر المغذية على معدل النمو (Park & Lee ١٩٩٩).

٤- الفراولة:

أدت زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون إلى زيادة معدل نمو وتطور نباتات الفراولة، حيث بكرت بالإزهار والحصاد، واستغرقت الثمار فترة أقل لحين وصولها إلى مرحلة النضج وأدت المعاملة إلى زيادة امتصاص النباتات للعناصر بنسبة ٣٠٪-٦٠٪ مقارنة بالكنترول، وإلى زيادة المحصول بنسبة ٣٠٪-٥٠٪ حسب بيئة الزراعة، مع حدوث زيادة فى محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة والحموضة المعايرة. وعلى الرغم من أن المعاملة أدت إلى زيادة المساحة الورقية، فإن معدل امتصاص النباتات لم يتغير (Itani وآخرون ١٩٩٨أ، و ١٩٩٨ب).

برمجة الاحتياجات البيئية باستعمال العقل الإليكترونى (الحاسوب)

يستخدم العقل الإليكترونى فى البيوت المحمية لتنظيم التحكم فى كافة العوامل البيئية، والتى منها:

١- درجات حرارة الليل والنهار، مع إجراء التعديلات اللازمة - تلقائيًا - للاستفادة القصوى من ضوء الشمس.

٢- نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون.

٣- الرطوبة الأرضية (الرى الأرضى والرى بالرذاذ).

٤- تركيز العناصر السمادية فى المحاليل المغذية، وتنظيم حقنها فى مياه الرى.

٥- التركيز الكلى للأملاح فى مياه الرى.

٦- قياسات الأرصاد الجوية خارج البيت (وهى: درجة الحرارة، والرطوبة النسبية، والأمطار، وسرعة الرياح واتجاهها، وشدة الإضاءة، والإشعاع الكلى) مع تعديل التدفئة، والتهوية، والإضاءة فى البيت، وتشغيل الستائر الحرارية Thermal Screens حسب الظروف الخارجية؛ وبما يقلل احتياجات الطاقة إلى حدها الأدنى.

وقد يمكن التحكم فى أجهزة العقل الإليكترونى من مكان التحكم المركزى أو من مكتب التشغيل. ويعطى الجهاز إنذارًا على صورة رنين فى الموقع أو عن طريق الهاتف (التليفون) على الأرقام التى تحدد لهذا الغرض.

وبهذه الطريقة يمكن إدارة مجموعة كبيرة من البيوت المحمية بأقل عدد من العاملين وبأمان أكبر، مع عدم الحاجة إلى رقابة دائمة طوال ساعات الليل والنهار (للتفاصيل .. تفضل مراجعة نشرات الشركات المتخصصة فى إنتاج هذه الأجهزة، مثل: Priva بهولندا، و Soil-less Cultivation Systems Ltd بإنجلترا).

وإلى جانب استعمال العقول الإليكترونية فى التحكم فى العوامل البيئية .. فإنها تستخدم - كذلك - فيما يعرف بـ "النظم الخبيرة"، التى يمكن الاستعانة بها فى تحديد البرامج الخاصة بمختلف العمليات الزراعية التى تناسب شتى الظروف البيئية،